FACULDADES INTEGRADAS DA GRANDE FORTALEZA - FGF

CLÁUDIO HOMERO FERREIRA DA SILVA

CENÁRIOS PROSPECTIVOS EM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E O FUTURO DA ENERGIA

BELO HORIZONTE - MG

DEZEMBRO 2010

CLÁUDIO HOMERO FERREIRA DA SILVA

CENÁRIOS PROSPECTIVOS EM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E O FUTURO DA ENERGIA

CLÁUDIO HOMERO FERREIRA DA SILVA

CENÁRIOS PROSPECTIVOS EM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E O FUTURO DA ENERGIA

Monografia apresentada à Faculdade Integrada da Grande Fortaleza como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em MBA de Gestão de Petróleo e Gás

Orientador: Gisele Lopes Abrantes

Belo Horizonte - MG

2010

CLÁUDIO HOMERO FERREIRA DA SILVA

CENÁRIOS PROSPECTIVOS EM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E O FUTURO DA ENERGIA

Monografia julgada e aprovada:

Prof. Orientadora Gisele Lopes Abrantes

Dedico esse trabalho a minha esposa, Maria Teresinha, que sempre foi paciente comigo e com meus estudos. Dedico também a minha família: Iolanda, Homero e Cristiano...

Agradeço a DEUS e...

Agradeço a todos que me apoiaram e que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação como ser humano e por conseqüência para a realização deste trabalho.

A vida só pode ser entendida olhando-se para trás.
Mas só pode ser vivida olhando-se para frente.

S. Kierkegaard

RESUMO

A energia trata-se de um dos pilares da sociedade moderna. A sua disponibilidade implica em acesso a serviços, informações e conforto. O atual modelo de uso dos recursos naturais se mostra insustentável, uma vez que os mesmos são finitos. A produção de energia, como uma atividade antropogênica, provoca impactos no meio ambiente, como por exemplo, o aquecimento global, considerando-se as emissões de gases de efeito estufa principalmente pelo uso de combustíveis fósseis. No enfrentamento das conseqüências ambientais associadas com a questão energética pode-se citar: a pesquisa por energias renováveis e limpas, o uso de sistemas mais eficientes, a busca por uso racional e conservação da energia. Os sistemas energéticos encontram-se sob pressão e sujeito a diversas modificações decorrentes de novas tecnologias, mas também por pressões de caráter ambiental, social, econômico, de mercado, regulatório e legal. Alguns destes impactos podem ser antevistos através da elaboração de estudos e cenários futuros, que podem ser utilizados no planejamento de crescimento de oferta-demanda. Outras possibilidades de utilização de tais estudos são: a elaboração de estudos de resposta aos impactos no setor energético e o direcionamento de questões de forma a se prospectar ações de ruptura que provoquem significativo ganho para a sociedade em termos ambientais, econômicos e sociais. Estes últimos estudos tratam dos cenários prospectivos. Mais que se deixar levar pelos movimentos de mercado e tecnológico, tais estudo possibilitam não somente a preparação para as conseqüências de tais movimentos, como também a possibilidade de se tomar a condução do caminho futuro, pela criação de condições e ações que viabilizem um cenário futuro favorável. Neste sentido, este trabalho contribui levantando a situação atual do setor energético mundial e nacional, bem como indicando alguns possíveis cenários para o futuro da energia. Os resultados indicam para um uso intenso das fontes disponíveis, juntamente com ações de eficiência energética, tendo no desenvolvimento tecnológico, uma grande expectativa para a solução das questões de energia que se apresentam para o futuro.

Palavras-chaves: alternativa energética, cenários prospectivos, energia, roteiros tecnológicos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço energético mundial em 2008 (IEA, 2010). 18

Figura 2 - Distribuição das reservas mundiais de petróleo por região 19

Figura 3 - Principais movimentações de petróleo em 2008 (10^6 ton)..... 21

Figura 4 - Distribuição mundial das reservas de gás natural. 22

Figura 5 - Principais movimentações de gás natural em 2008 (10^9 m^3)..... 23

Figura 6 - Distribuição espacial e quantitativa das reservas mundiais de carvão. 24

Figura 7 - Principais importações e exportações de carvão em 2006 (10^6 ton). 25

Figura 8 - Localização das rochas sedimentares adequadas para CCS. 26

Figura 9 - Consumo de energia nuclear por região do mundo. 27

Figura 10 - Localização das principais reservas de urânio mundiais. As reservas em azul possuem menor custo de mineração (menos de 80 dólares por quilo de urânio). 27

Figura 11 - Evolução mundial da capacidade eólica instalada, em GW. 28

Figura 12 - Recurso solar para aproveitamento na forma concentrada (IEA, 2010). 29

Figura 13 - Densidade de energia em kW/m de ondas ao longo do mundo. 29

Figura 14 - Locais mais apropriados para a utilização da energia das marés. 30

Figura 15 - Regiões potenciais para aproveitamento geotérmico. 30

Figura 16 - Produção histórica mundial de etanol, por utilização (Rocha, Mesa Perez e Cortez, 2004). 31

Figura 17 - Principais produtores de biodiesel no mundo (Baier. S, Clements, M., Griffiths C., Ihrig, J., 2009) 31

Figura 18 - Consumo final de energia por fonte (EPE, 2006) 32

Figura 19 - Bacias sedimentares brasileiras, com destaque para as províncias produtoras de petróleo 32

Figura 20 - Distribuição percentual por Unidades da Federação das reservas provadas de gás natural no Brasil (ANP, 2009) 33

Figura 21 - Localização das principais jazidas de carvão da bacia do Paraná (Aramis *et al.* , 1998) 33

Figura 22 - Reservas brasileiras de urânio e mineração propriamente dita. 34

Figura 23 - Áreas mais promissoras para aproveitamento eólico em Minas. 35

Figura 24 - Potencial de energia solar no Brasil (Pereira, 2006). 35

Figura 25 - Eletricidade a partir de fontes renováveis até 2050 (IEA,2008). 39

Figura 26 - Estrutura da oferta de energia 2005/2030. 41

Figura 27 - Aumento da geração mundial de energia a partir de fontes renováveis até 2030. 41

Figura 28 - Cenário da energia elétrica mundial em 2035. 42

Figura 29 - *Roadmap* da união européia, indicando metas e objetivos em energia. 42

Figura 30 - *Roadmap* da união européia, indicando metas e objetivos em energia. 43

Figura 31 - O cenário futuro e as possibilidades para ações de eficiência energética. 44

Figura 32 - Desenvolvimento da energia Nuclear. 44

Figura 33 - Expansão das fontes de energia elétrica do Brasil, já contratada e planejada, até 2019. 45

Figura 34 - Demanda de energia no futuro (2030) 46

Figura 35 - Matriz energética brasileira em 2005 e em 2030. 47

Figura 36 - Composição do parque gerador de eletricidade previsto pelo PDE (2010, 2014 e 2019). 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de petróleo por região do mundo em 2008. 20
Tabela 2: Consumo de petróleo por região do mundo em 2008. 20
Tabela 3: Produção de gás natural por região do mundo em 2008. 22
Tabela 4: Consumo de gás natural por região do mundo em 2008. 22
Tabela 5: Produção de carvão por região do mundo em 2008. 24
Tabela 6: Consumo de carvão por região do mundo em 2008. 25
Tabela 7: Custos de Investimento Referenciais na Geração da Energia Elétrica 36
Tabela 8: Custo Médio da Geração de Eletricidade (US$/MWh) 36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
1.1 Delimitação do tema e Problema da Pesquisa 14
1.2 Objetivo Geral 14
1.2.1 Objetivos Específicos 15
1.3 Justificativa e Relevância 15
1.4 Resumo do Trabalho 16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1Conceitos: Cenário Prospectivo 17
2.2 Conceito: *Technology Roadmap* 17
2.3 Setor Energético Mundial: Situação Atual 18
2.3.1 Fontes não-renováveis 18
2.3.1 Fontes renováveis 28
2.4 O Setor Energético Brasileiro 31
3. METODOLOGIA 37
4. CENÁRIOS FUTUROS EM ENERGIA 38
4.1 Cenários para o Brasil 45
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52

1. INTRODUÇÃO

A energia trata-se de um dos pilares da sociedade moderna. A sua disponibilidade implica em acesso a serviços, informações e conforto. Quanto maior é o gasto energético maior é a renda da população. Esta relação é chamada elasticidade x renda. Ou seja, no modelo atual o objetivo de todos os países em crescer e se desenvolver terá reflexos substanciais na sua renda e por conseqüência em sua demanda/consumo de energia. Esta é a grande questão moderna, que por vezes se torna a origem de conflitos e guerras: a segurança energética das nações. De fato, o grande benefício da energia se dá na construção e desenvolvimento da economia real, como motor da evolução humana. Não se deseja energia por ela mesma, mas se deseja para melhorar a qualidade de vida com impactos sociais, econômicos e de longevidade.

O Plano Nacional de Energia, realizado pela EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2006) trata de um estudo sobre o setor de energia para o contexto brasileiro. De fato ele executa uma expectativa para o setor energético num horizonte de 20 anos (2010-2030), de forma a ampliar a capacidade do sistema elétrico com economicidade. São traçados vários cenários, variando-se, por exemplo, índices de crescimento da população, crescimento do produto interno bruto e usos de fontes alternativas de energia. Este estudo além de subsidiar o plano decenal de expansão possui também reflexos de ordem política, fornecendo uma direção para desenvolvimento por políticas públicas. Uma das conclusões mais relevantes sobre este estudo é de que na pior situação de crescimento do país haverá um aumento da demanda da ordem de 150%. Mesmo com esse expressivo aumento na produção de energia, em 2030, o país permanecerá com baixa da intensidade energética menor que dos países de primeiro mundo.

A produção de energia, como uma atividade antropogênica, provoca impactos no meio ambiente, considerando-se as emissões de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano, dentre outros) principalmente pelo uso de combustíveis fósseis. O aquecimento global é um exemplo de efeito indesejável, que contribui significativamente para as mudanças climáticas em âmbito mundial. O despertar para as questões ambientais foi decorrente de desastres e catástrofes ambientais. A percepção de que os recursos são finitos somente ocorreu como

resultado dos movimentos ambientais da década de 1960/1970. Várias foram as constatações resultantes de estudos das conferências associadas com o meio ambiente que confrontaram a humanidade com o grande dilema: o uso de recursos naturais versus o esgotamento das fontes. Pesquisas e negociação em conferências resultaram em algumas direções que se mostram como tentativas de solução para alguns problemas. Alguns exemplos que podem ser citados são: o protocolo de Kioto e a Conferência Eco 92 (SOARES et al., 2004). No enfrentamento das conseqüências ambientais associadas com a questão energética pode-se citar: a pesquisa por energias renováveis e limpas, o uso de sistemas mais eficientes, a busca por uso racional e conservação da energia.

Em uma economia global não basta que um país seja autossuficiente em seus recursos e não basta que ele resolva o seu problema. Note a seguinte situação contemporânea: a União Européia defensora das emissões buscam reduzir as suas fontes poluentes, e por outro lado a China, que se trata de um país que possui um sexto da população mundial em condições de desenvolvimento semelhantes a do Brasil, está buscando o seu desenvolvimento. Vale observar que todas as fontes precisarão ser exploradas, inclusive o carvão mineral. Toda esta exploração em larga escala terá reflexos que vão além dos limites territoriais, já que as emissões possuem impacto global.

O Brasil possui uma condição privilegiada, posto que possua terra e condições favoráveis para a cultura de biomassa, não só para alimento, mas também de forma energética, como por exemplo, cana-de-açúcar (para etanol), oleaginosas diversas (biodiesel), capim elefante e eucalipto (madeira energética) dentre outros tipos. O país ainda possui grande potencial eólico (em terra e, ainda não explorado, no mar), insolação acima da média mundial, dada a sua localização nos trópicos, recursos hídricos ainda a serem explorados. Existe também um grande potencial de energia maremotriz, que se encontra em estágios iniciais de desenvolvimento, haja vista a extensa costa marítima. Além disso, o país possui uma grande reserva de mineral de onde se extrai o urânio e uma significativa parte das reservas de água doce do mundo.

Tecnologias como os veículos elétricos vem para atacar a dependência do petróleo, mas principalmente direcionar o desenvolvimento tecnológico para sistemas mais eficientes do que os motores de combustão interna (eficiências menores que 20%). A chamada economia do hidrogênio, onde as fontes de energia

primária produzem gás hidrogênio que é usado em células a combustível, também se encontram alinhadas com o conceito de eficiência energética. São grandes as expectativas para o futuro que podem mudar os conceitos de deslocamento e *design* de veículos. A arquitetura de casa também tem sido alvo de estudos de racionalização e eficientização. Para o futuro pensa-se em casas que aproveitem mais a luminosidade natural, a ventilação natural, faça uso de *led* (*light emission diodo*: iluminação moderna eficiente) e equipamentos eletroeletrônicos de alta eficiência juntamente com aquecimento de água através de coletores, incorporando ainda na construção dos edifícios, pavimentações e telhados, módulos fotovoltaicos para a geração de energia. Coleta seletiva e reuso de água também farão parte da realidade das famílias. O resíduo sólido urbano terá o seu aproveitamento em toda uma cadeia, utilizando os 3R's, gerando energia através de biogás ou de incineração, utilizando plasma para tornar os resíduos inertes.

A geração distribuída usando módulos fotovoltaicos, termoelétricas solares, motores Stirling, aerogeradores, microturbinas, e exploração de biomassa e resíduos serão integradas ao sistema através do sistema de distribuição, fazendo parte de uma rede de energia inteligente.

A grande expectativa é de que a energia do futuro seja limpa e renovável, fomentada por política dos governos, gerando créditos de carbono e redução de emissões, e ainda um importante pilar, não só do desenvolvimento econômico, mas também de desenvolvimento humano em todas as suas dimensões.

1.1 Delimitação do tema e Problema da Pesquisa

Considerando os vários ângulos sobre o assunto "energia" e principalmente os desdobramentos tecnológicos e de questões legais e impactos ambientais, este trabalho busca responder a seguinte questão:

Quais são os possíveis caminhos para o setor energético mundial?

1.2 Objetivo Geral

O objeto da pesquisa visa investigar o setor de combustíveis fósseis e identificar os possíveis caminhos para a evolução futura da questão energética mundial.

1.2.1 Objetivos Específicos

Os três pontos específicos a serem abordados durante as etapas do trabalho visam:

- Conhecer a atual situação dos recursos fósseis e do setor energético mundial;
- Analisar oportunidades tecnológicas, regulatórias, legais, ambientais, sociais e econômicas que possam impactar futuramente o setor de energia;
- Avaliar os reflexos da evolução energética no cenário brasileiro;

1.3 Justificativa e Relevância

Esta questão é crucial para nossa sociedade na medida em que um colapso energético significa o rompimento de uma das bases da sociedade moderna e do modelo econômico. Imaginar uma nova realidade baseado nos dados presentes e em expectativas futuras realmente é um grande desafio. Mas por outro lado conhecer ou crias novas opções e possibilidades levam a mobilização no sentido de se construir efetivamente uma solução para os problemas encontrados.

Este tema é bastante desafiador em termos industriais e acadêmico, e grandemente motivador, uma vez que abre uma janela de oportunidades para os seus conhecedores, possibilitando inclusive a criação a e fomento, não só de negócios, mas de tecnologias de ruptura com expectativa potencial de grandes ganhos e resultados.

Para este trabalho de conhecer o cenário atual e buscar o cenário futuro serão utilizados os cenários prospectivos e os *roadmaps* tecnológicos, produzidos por grande universidade e centros de estudos, bem como por importantes governos com influencia mundial.

Muitos trabalhos têm sido realizados, entretanto a realidade nacional não tem sido abortada diretamente, uma vez que o grande foco dos estudos encontra-se restrito aos Estados Unidos e outros países de grande intensidade energética.

1.4 Resumo do Trabalho

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema “energia”, com enfoque para os combustíveis fósseis, apresentando inclusive um panorama atual da questão energética mundial e nacional. No Capitulo 3 é mostrada a metodologia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. O Capítulo 4 apresenta cenários futuros e *roadmaps* tecnológicos. O Capítulo 5 mostra os resultados e discussões decorrentes dos diversos cenários e o seu confronto com a atual situação. No Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais deste trabalho juntamente com as sugestões para pesquisa futura. Finalizando o trabalho encontram-se as referências utilizadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1Conceitos: Cenário Prospectivo

Os cenários prospectivos são configurações de imagens de futuro condicionadas e fundamentadas em jogos coerentes de hipóteses sobre os prováveis comportamentos das variáveis determinantes do objeto de planejamento. Trata-se de prever o futuro através da idealização de imagens que geram um e mais outros cenários prováveis, para uma situação que se imagina querer que aconteça. A pesquisa prospectiva tem como objetivo, permitir ao analista prever decisões adequadas às suas aspirações, desejos e necessidades (ESPAÇO E EXPRESSÃO SC LTDA., 2010).

Para o estudo proposto, pode ser entendido que o cenário se trata de uma revisão do estado da arte das principais tecnologias de energia tendo como horizonte um futuro de médio a longo prazos, caracterizados pelo período de 10 à 50 anos, tendo como base uma revisão da literatura recente tanto no âmbito nacional como internacional. São analisadas a partir da literatura existente, as tendências apontadas com relação à evolução do consumo de energia, e uma análise sobre desafios e oportunidades para o setor energético em áreas consideradas de interesse público (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008), quanto à:

- Situação das reservas energéticas;
- Aspectos Sociais e Regionais;
- Qualidade do ar;
- Saúde e segurança públicas;
- Uso da terra e água e ameaças à biodiversidade;
- Mudanças climática.

2.2 Conceito: *Technology Roadmap*

Technology Roadmap, ou roteiro de tecnologia, é um plano que relaciona o curto prazo a objetivos de longo prazo com soluções tecnológicas específicas. É um plano que se aplica a um novo produto ou processo, ou para uma tecnologia

emergente. O desenvolvimento de um roteiro que tem três usos principais (Technology Roadmap, 2010):

- Contribuir para se chegar a um consenso sobre um conjunto de necessidades e as tecnologias necessárias para satisfazer essas necessidades,
- Prever um mecanismo para ajudar a evolução tecnológica,
- Fornecer um quadro para ajudar a planejar e coordenar a evolução da tecnologia.

2.3 Setor Energético Mundial: Situação Atual

A Figura 1 mostra a demanda energética mundial por fonte.

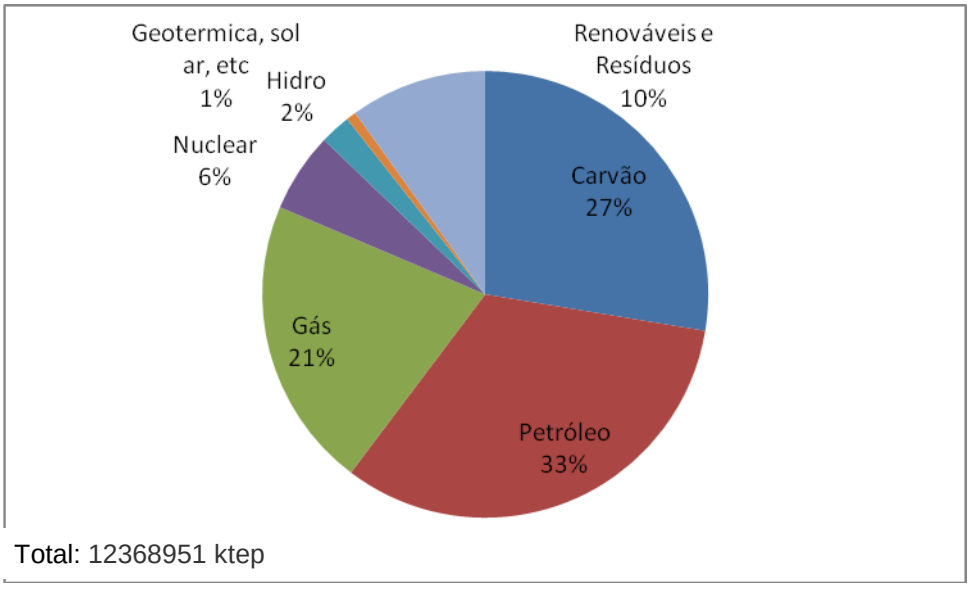


Figura 1 - Balanço energético mundial em 2008 (IEA, 2010).

2.3.1 Fontes não-renováveis

De forma a entender melhor a situação, será aprofundado a seguir nas informações de cada setor. As fontes fósseis foram os principais combustíveis do século XX. Sua alta disponibilidade e baixo custo garantiram que estivessem presentes em diversas cadeias produtivas, energéticas ou não. Embora essa dominância ainda exista no início do século XXI, os movimentos ambientalistas das últimas décadas levantaram questões importantes, como o impacto causado pelos gases do efeito estufa gerados na queima desses combustíveis e o fato de eles serem fontes não-renováveis. As reservas de petróleo e gás teriam duração estimada em mais 50 ou 60 anos, embora o gás natural dure talvez um pouco mais.

As de carvão variam de país a país, mas muitos ainda têm o bastante para mais de 500 anos. Sendo assim, duas prioridades surgiram no cenário energético atual: substituir o petróleo e aproveitar o carvão de maneira ambientalmente menos agressiva.

As alternativas energéticas e as novas tecnologias para os sistemas fósseis ganham importância. Contudo, enquanto houver disponibilidade de recursos naturais e o preço da energia se mantiver em patamares aceitáveis, dificilmente as alternativas e novas tecnologias deixarão de ser alternativas. Há que se notar que a disponibilidade de recursos fósseis é virtual, principalmente devido a novas descobertas geológicas que indicam recursos não previstos. Existe também a possibilidade de uso de campos de óleo e gás que anteriormente eram considerados inviáveis, mas que com o preço e disponibilidade se apresentam como viáveis. Em um evento importante do setor de energia nacional, ocorrido em 2006 em Curitiba/PR, chamado “Seminário de Tecnologias Energéticas para o Futuro” especialistas em petróleo sugeriram que este recurso fóssil deixará de ser utilizado, não pelo seu esgotamento total e completo, mas por evolução tecnológica. A Figura 2 apresenta uma distribuição das reservas mundiais de petróleo.

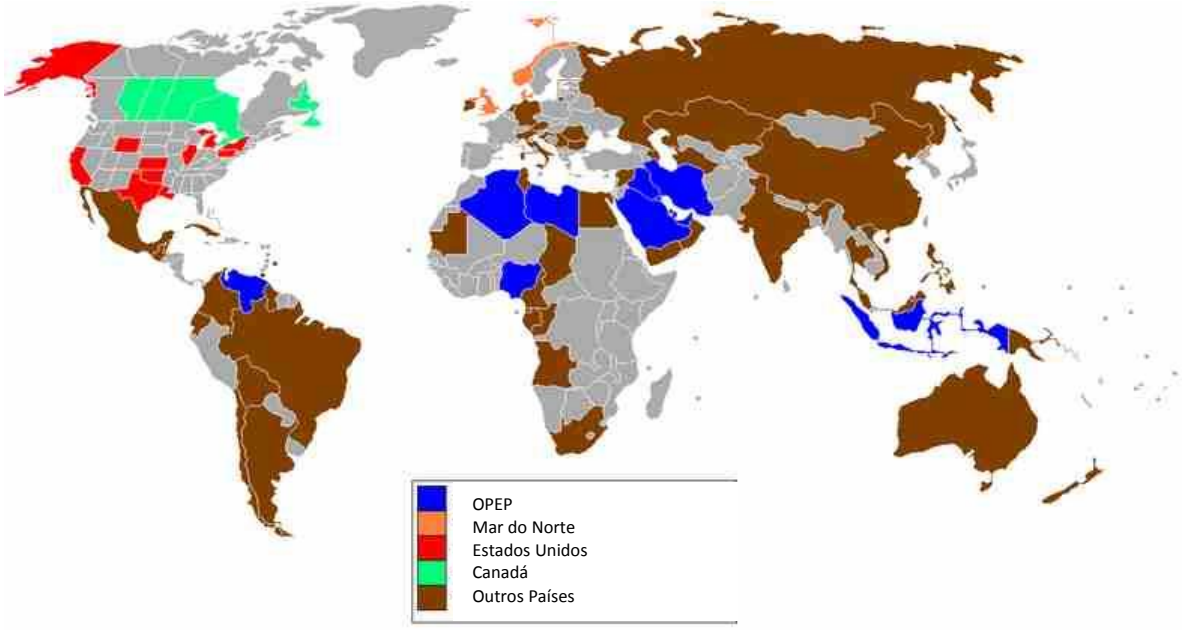


Figura 2 - Distribuição das reservas mundiais de petróleo por região

Fonte: (http://www.solarnavigator.net/petroleum.htm)

As Tabelas 1 e 2 mostram os maiores produtores e os maiores consumidores de petróleo. Em uma rápida análise, nota-se que a Ásia é o maior

consumidor atual de petróleo, graças ao rápido desenvolvimento da China e ao Japão. É notável que o consumo da África inteira seja da mesma ordem de grandeza do consumo do Brasil, apenas. Na Figura 3 pode-se observar os fluxos financeiros do petróleo no mundo (BP Statistical Review of the World, 2009).

Tabela 1: Produção de petróleo por região do mundo em 2008.

Produção de Petróleo 2008 (milhões de barris por dia)		
		Percentual em 2008
América do Norte	13131	15.8%
América do Sul e Central	6685	8.5%
Europa e Eurásia	17591	21.7%
Oriente Médio	26200	31.9%
África	10285	12.4%
Ásia Pacífica	7928	9.7%
Total do mundo	81820	100.0%
Brasil	1899	2.4%

Tabela 2: Consumo de petróleo por região do mundo em 2008.

Consumo de Petróleo 2008 (milhões de barris por dia)		
		Percentual de 2008
América do Norte	23753	27.4%
América do Sul e Central	5901	6.9%
Europa e Eurásia	20158	24.3%
Oriente Médio	6423	7.8%
África	2881	3.4%
Ásia Pacífica	25339	30.1%
Total do mundo	84455	100.0%
Brasil	2397	2.7%

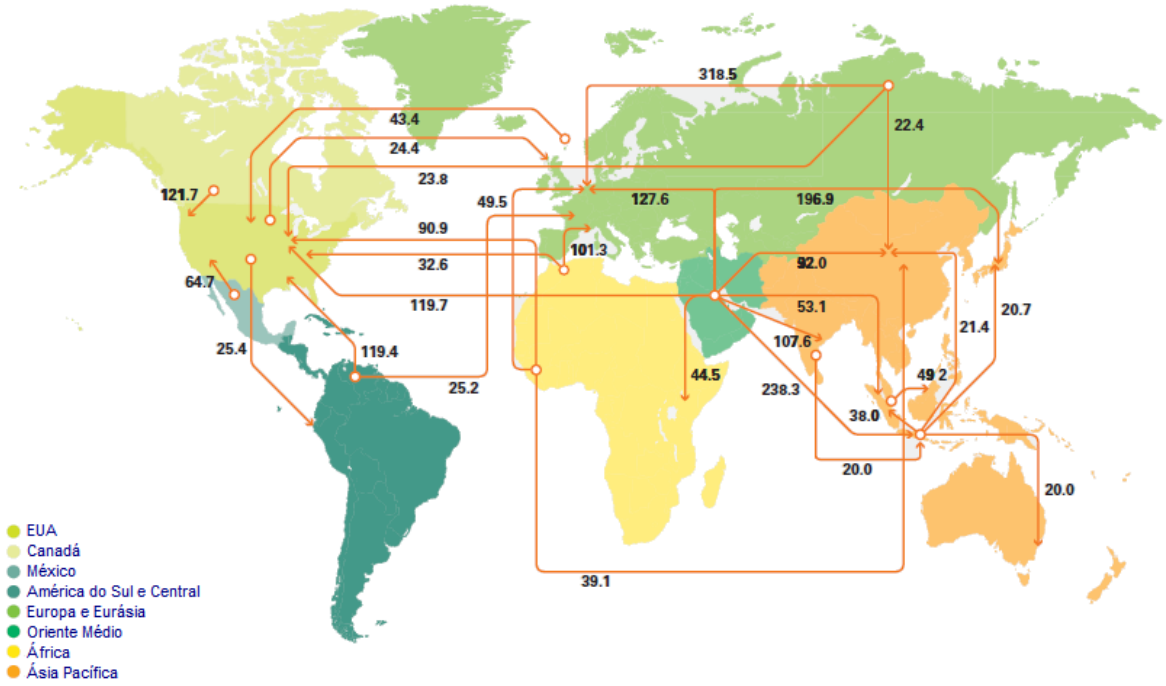


Figura 3 - Principais movimentações de petróleo em 2008 (10^6 ton).

Além das empresas dos países da OPEP (Organização dos Paises Exportadores de Petróleo), que são as maiores do setor do petróleo, a liderança na área é exercida pelas chamadas "*Big Five*" ou "*Big Oil*": Chevron, Exxon/Mobil, Royal Dutch Shell, BP e Conoco-Phillips. No Brasil, a líder é a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobrás), uma das maiores empresas do mundo. O traço em comum entre as empresas citadas, excetuando as da OPEP, é que todas investem em alternativas energéticas, talvez prevendo as dificuldades que terão no futuro, com o esgotamento das reservas que exploram e a dominância cada vez maior do Oriente Médio no mercado de petróleo.

Um energético que vem ganhando cada vez mais espaço, devido a disponibilidade, a maturidade tecnológica e as reduzidas emissões quando se comparado com o petróleo e o carvão trata-se do gás natural. A Figura 4 apresenta a distribuição de reservas mundiais. A produção e o consumo de gás natural por região é mostrada nas Tabelas 3 e 4 (BP Statistical Review of the World, 2009).

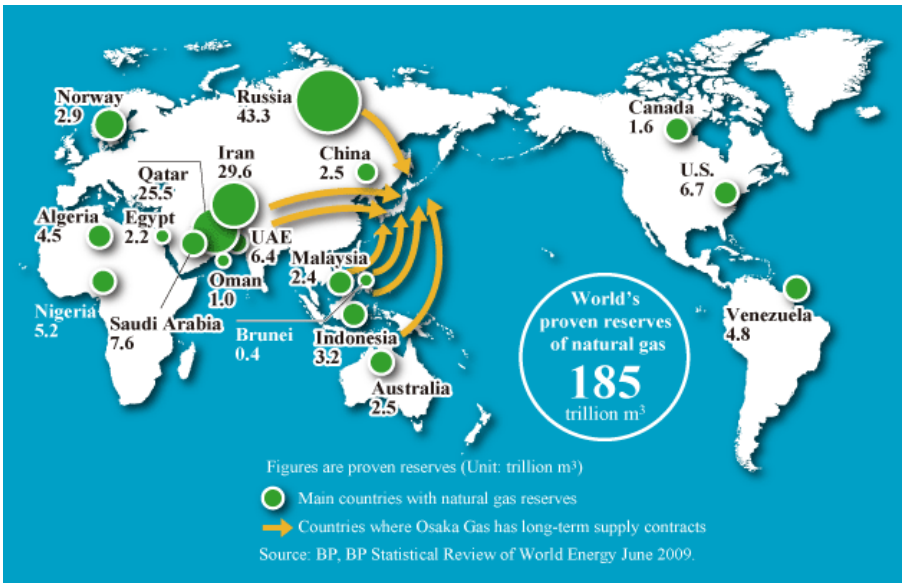


Figura 4 - Distribuição mundial das reservas de gás natural.

Fonte: http://www.osakagas.co.jp/csr_e/charter01/safety01.html

Tabela 3: Produção de gás natural por região do mundo em 2008.

Produção de Gás Natural - 2008 (bilhões de metros cúbicos)		
		Percentual de 2008
América do Norte	812.3	26.7%
América do Sul e Central	158.9	5.2%
Europa e Eurásia	1087.3	35.4%
Oriente Médio	381.1	12.4%
África	214.8	7.0%
Ásia Pacífica	411.2	13.4%
Total do mundo	3065.6	100.0%
Brasil	13.9	0.5%

Tabela 4: Consumo de gás natural por região do mundo em 2008.

Consumo de Gás Natural - 2008 (bilhões de metros cúbicos)		
		Percentual de 2008
América do Norte	824.4	27.6%
América do Sul e Central	143.0	4.7%
Europa e Eurásia	1143.9	37.8%
Oriente Médio	327.1	10.8%
África	94.9	3.1%
Ásia Pacífica	485.3	16.0%
Total do mundo	3018.7	100.0%
Brasil	25.2	0.8%

É possível ver que a produção e o consumo de gás natural estão aproximadamente nos mesmos níveis de grandeza em todas as regiões do mundo. Isso não significa que não há comércio entre os países do interior de cada uma dessas regiões, como de fato acontece entre o Brasil e a Bolívia, por exemplo, ambos na América do Sul. Como o gás está freqüentemente associado ao petróleo, o Oriente Médio surge como produtor importante, especialmente porque sua demanda é menor que sua produção. Tal fato é corroborado por Mathias (2008) que indica que este energético ainda não obtém elementos para que seja classificado como um comércio globalizado, tendo como principais causas, a comercialização tardia e as características de uso regional. O desenvolvimento de tecnologia de GNL (gás natural liquefeito) pode contribuir para que o mercado se torne global, na medida em que possibilita o transporte de grandes quantidades em longas distâncias de forma econômica. A Figura 5 mostra os fluxos deste energético no mundo (BP Statistical Review of the World, 2009).

O mercado de gás natural é muito atrelado ao de petróleo, uma vez que as reservas de um freqüentemente são as do outro. As líderes em petróleo podem ser apontadas também como líderes em gás natural.

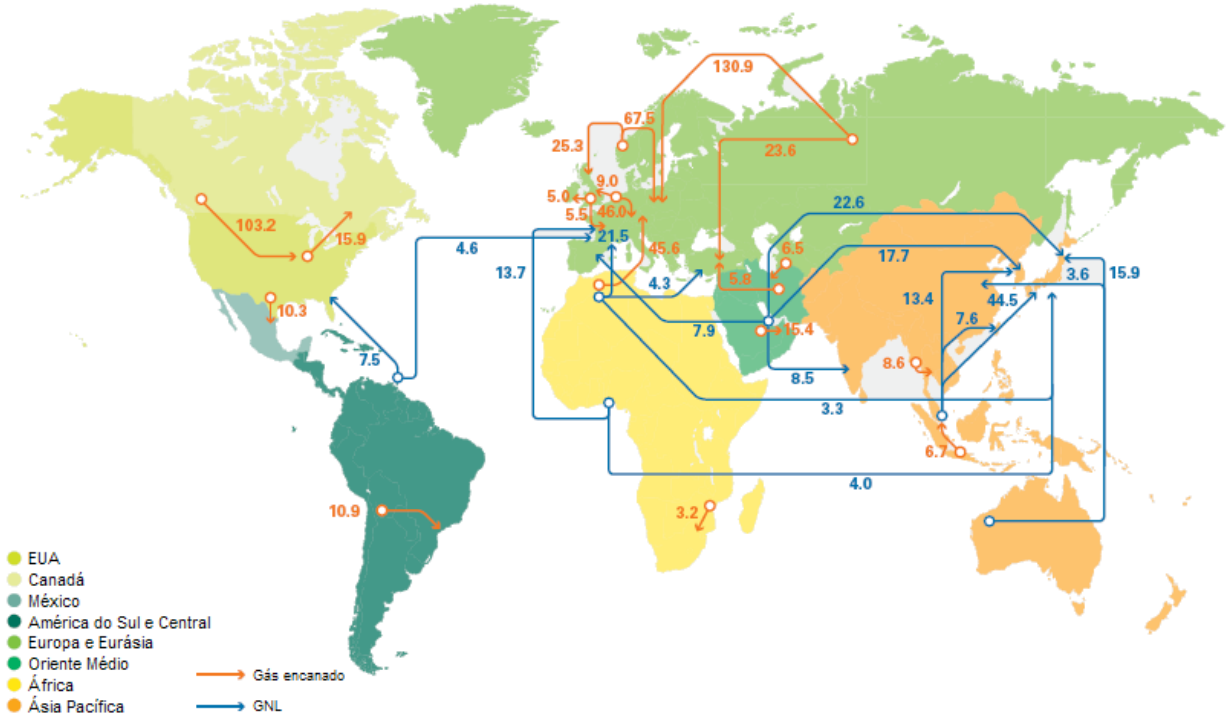


Figura 5 - Principais movimentações de gás natural em 2008 (10^9 m^3).

Atualmente, os principais usos do carvão são a geração de calor e eletricidade. Termelétricas a carvão mineral são ainda a principal forma de geração de energia no mundo. Ele também é usado na produção de aço, refinarias de alumina, manufaturas de papel e indústrias químicas e farmacêuticas.

As reservas provadas de carvão em 2008 se distribuíam de acordo com a Figura 6. Os países que contêm as maiores reservas são, respectivamente, os EUA (28,9% do total mundial), a Rússia (19%) e a China (13,9%), conforme apresenta a Figura 6.

A produção e o consumo de carvão por região é mostrada nas Tabelas 5 e 6 (BP Statistical Review of the World, 2009).

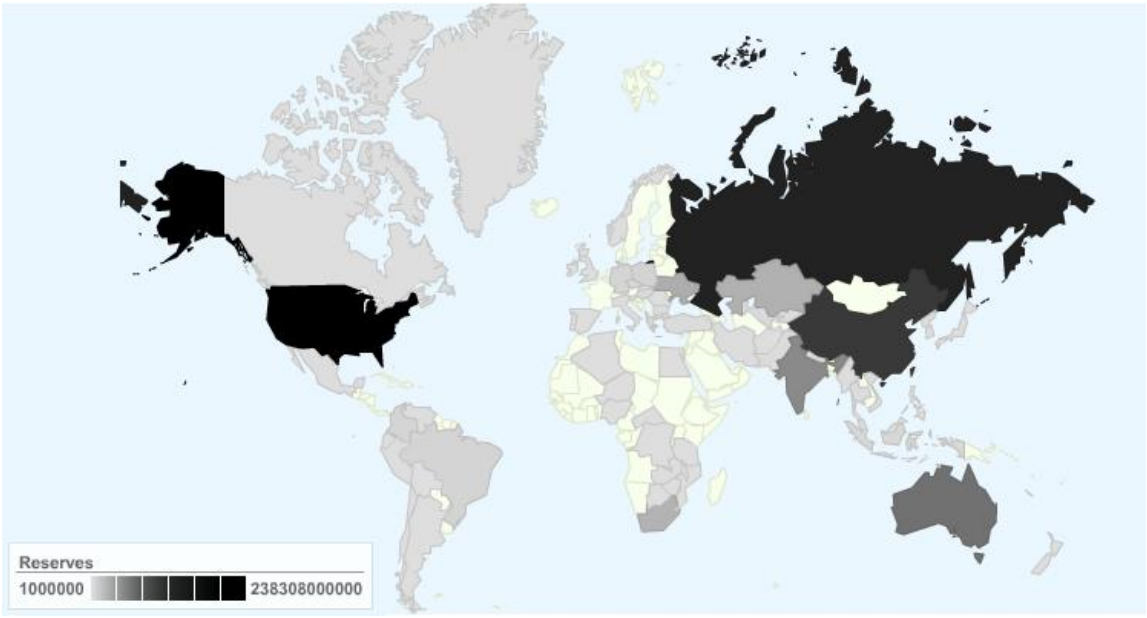


Figura 6 - Distribuição espacial e quantitativa das reservas mundiais de carvão.

Fonte: http://chartsbin.com/view/n1n

Tabela 5: Produção de carvão por região do mundo em 2008.

Produção (em milhões de tEP)		
		Porcentagem do total
América do Norte	638.4	19.2%
América do Sul e Central	55.5	1.7%
Europa e Eurásia	456.4	13.7%
Oriente Médio	0.5	-
África	143.4	4.3%
Ásia Pacífica	2030.7	61.1%
Total do mundo	3324.9	100.0%
Brasil	2.4	0.1%

Tabela 6: Consumo de carvão por região do mundo em 2008.

Consumo (em milhões de tEP)		
		Porcentagem do total
América do Norte	606.9	18.4%
América do Sul e Central	23.3	0.7%
Europa e Eurásia	522.7	15.8%
Oriente Médio	9.4	0.3%
África	110.3	3.3%
Ásia Pacífica	2031.2	61.5%
Total do mundo	3303.7	100.0%
Brasil	14.6	0.4%

Os maiores produtores são as regiões onde estão os países de maiores reservas, EUA, Rússia e China. Os maiores consumidores são a China (42,6% do consumo mundial), os EUA (17,1%) e a Índia (7,0%). A Europa Ocidental é uma grande consumidora de carvão, particularmente a Rússia (3,1%) e a Alemanha (2,8%). Na Ásia, os grandes consumidores são a China, a Índia e o Japão (3,9%). Na África, destaca-se a África do Sul, que tem o mesmo consumo da Rússia.

A Austrália é o maior exportador mundial de carvão e o Japão, o maior importador. Na tabela 4, estão mostrados os sete maiores exportadores e importadores do insumo:

O fluxo de importações/exportações de carvão, em 2006, é esquematizado na Figura 7.

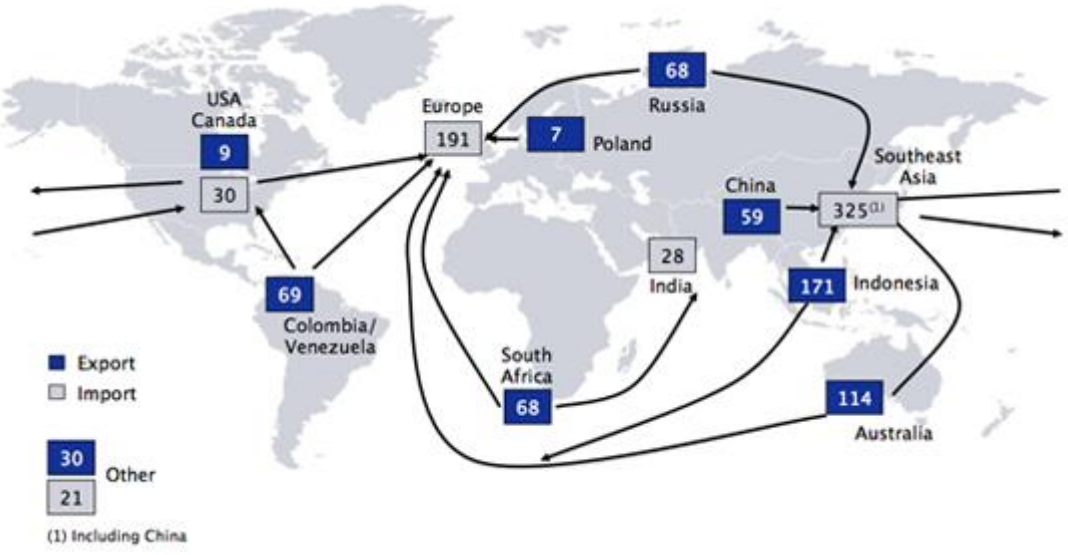


Figura 7 - Principais importações e exportações de carvão em 2006 (10^6 ton).

Fonte: http://hms-ag.com/en/energy-coal-market/world-coal-trade.html

O mercado do carvão é dominado pelos EUA. As maiores empresas desse país, em analogia ao termo "*Big Oil*" das grandes empresas petrolíferas, ficaram conhecidas como "*Big Coal*". Elas são a Peabody Energy – maior empresa do setor privado de carvão e que responde por 10% da energia dos EUA e 2% da energia mundial, a Arch Coal, a Rio Tinto e a Ohio Coal Association. Na Rússia, outro grande produtor de carvão, tem-se a empresa Yuzhkuzbassugol, como exemplo e a China, outro grande produtor, é liderada pela empresa China Huaneng Group. Existe uma grande expectativa em tecnologias que possibilitem o uso desta fonte, sem que se agrida o meio ambiente, como por exemplo, as tecnologias de CCS (*Carbon Capture and Storage*). Esta tecnologia está sendo desenvolvido por várias empresas, com expectativa de disponibilidade comercial em 2020. Considerando-se que se trata de um processo agregado ao uso do carvão, a conseqüência natural é a redução da eficiência do sistema, uma vez que se faz necessário o uso de energia do processo para que o sistema de CCS funcione. Atualmente está energia corresponde a 10% da eficiência líquida do processo. Uma severa restrição desta tecnologia está associadas a disponibilidade de locais com condição geológica adequada, conforme indica a Figura 8 (IEA, 2007).

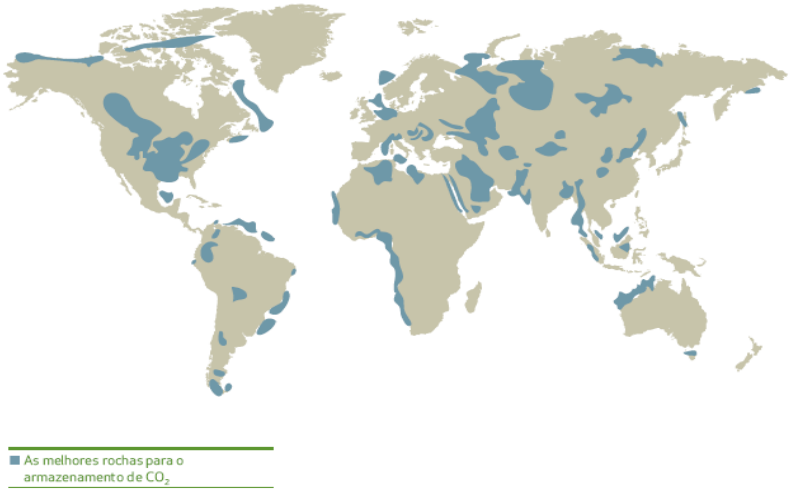


Figura 8 - Localização das rochas sedimentares adequadas para CCS.

Outra forma não renovável de energia de grande relevância mundial é a energia nuclear. Trata-se da produção de energia criada no século XX e que, embora controversa, ganha cada vez mais destaque em época de preocupação ambiental e possível escassez dos combustíveis atuais. Consiste no aproveitamento da energia liberada na fissão de núcleos radioativos para girar turbinas e produzir

energia elétrica. Existem 436 reatores nucleares em operação no mundo, de acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (AEIA, 2010), 5 em desativação e 56 sendo construídos. O maior consumidor de energia nuclear são os EUA, com 31% do consumo mundial. Em segundo lugar, vem a França, com 16%. Os demais países têm consumos bem menores. A Europa como um todo consome 44% da energia nuclear consumida no mundo, sendo a região que mais utiliza essa forma de energia. A França é um caso especial, já que 76,2% de toda a sua energia elétrica têm como fonte as usinas nucleares, o maior índice do mundo. A Figura 9 mostra o consumo de energia nuclear por região (BP Statistical Review of the World, 2009).

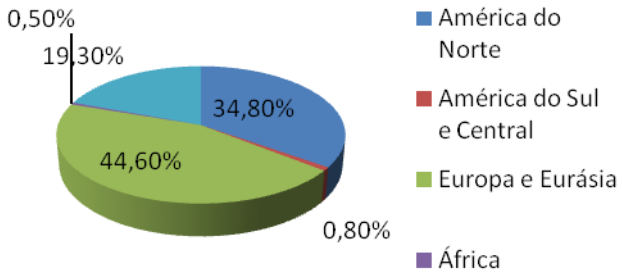


Figura 9 - Consumo de energia nuclear por região do mundo.

O combustível das usinas nucleares é uma mistura de urânio-238 e urânio-235, sendo esse último radioativo e presente em menor quantidade. As maiores reservas de urânio do mundo estão na Austrália, conforme apresenta a Figura 10 (BP Statistical Review of the World, 2009).

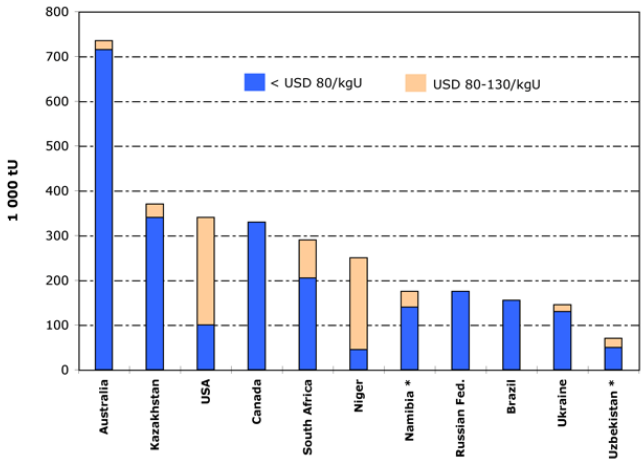


Figura 10 - Localização das principais reservas de urânio mundiais. As reservas em azul possuem menor custo de mineração (menos de 80 dólares por quilo de urânio).

A duração dessas reservas é motivo de muita discussão. Os mais pessimistas apontam uma duração próxima à dos combustíveis fósseis, enquanto outras previsões contam com reservas para milhares de anos. Algumas dessas previsões confiam na melhoria da eficiência dos reatores nucleares, admitindo que o uso tal como é feito hoje poderia exauri-las mais cedo.

2.3.1 Fontes renováveis

A Figura 11 apresenta a evolução da capacidade eólica mundial instalada, desde o início da década de 80. Pode-se observar o aumento expressivo da potência instalada, sobretudo na última década, com destaque para Estados Unidos, Alemanha e Espanha. Desde 2000, a taxa média de crescimento da capacidade instalada foi em torno de 30% por ano. Somente em 2008 o aumento foi superior a 27GW em mais de 50 países (Amarante, Silva e Andrade, 2010).

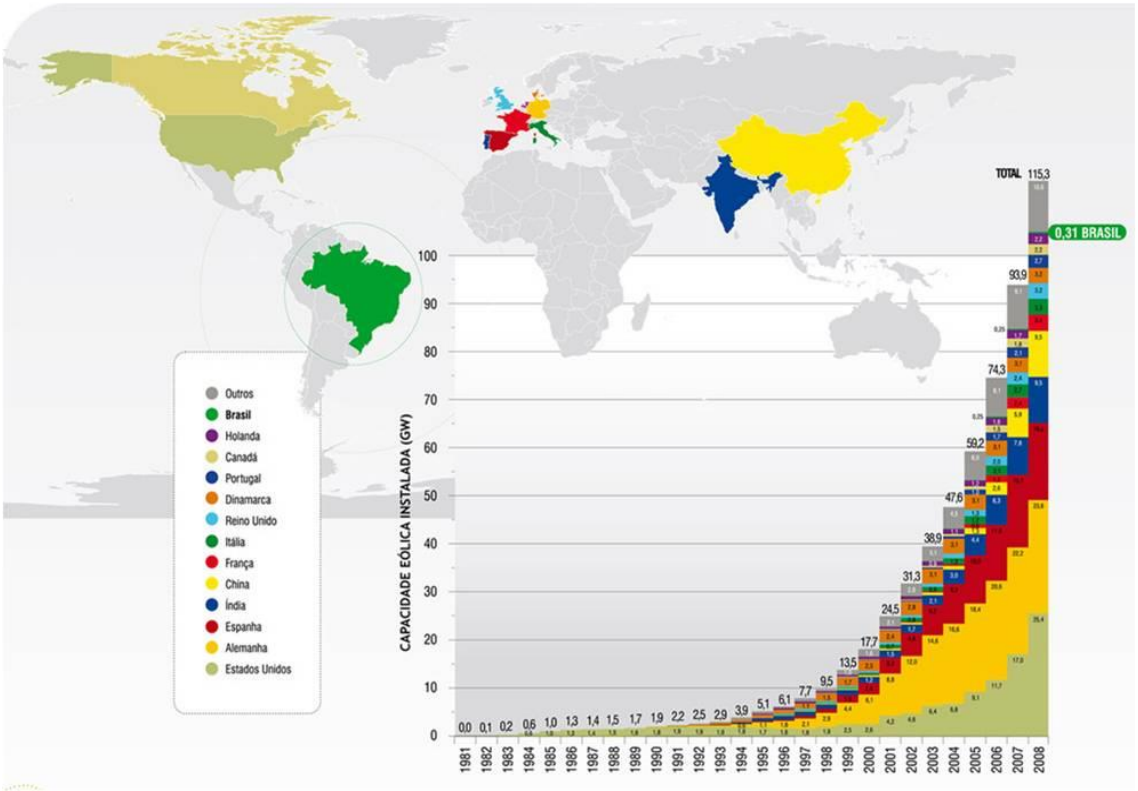


Figura 11 - Evolução mundial da capacidade eólica instalada, em GW.

A Figura 12 indica os pontos potenciais para aproveito da energia solar na forma de potência solar concentrada. É possível notar que se trata de um potencial ainda

pouco explorado e que pode certamente contribuir de forma significativa para o encaminhamento da questão energética mundial, seja na forma de energia elétrica ou ainda em calor, co-geração (eletricidade e calor) e tri-geração (calor, frio e eletricidade).

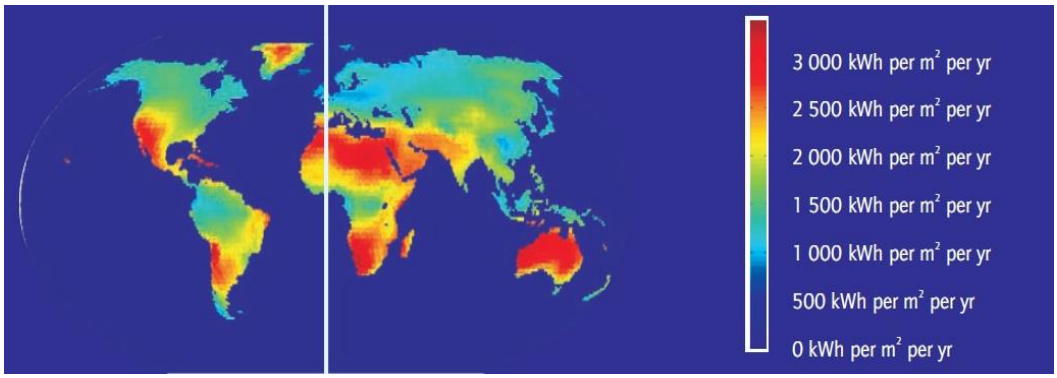


Figura 12 - Recurso solar para aproveitamento na forma concentrada (IEA, 2010).

Outra fonte com desenvolvimentos e que pode no futuro compor a matriz energética mundial é a energia dos oceanos. A Figura 13 mostra o potencial mundial de geração de energia pelas ondas e a Figura 14 indica o potencial para a geração de energia pelas marés.

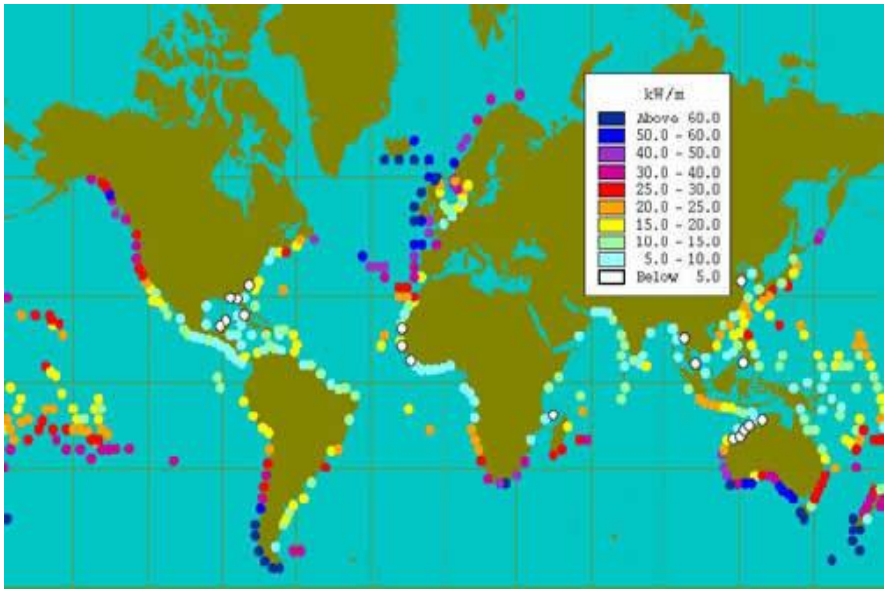


Figura 13 - Densidade de energia em kW/m de ondas ao longo do mundo.

Fonte: http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/world/sources_world/Ocean%

Figura 14 - Locais mais apropriados para a utilização da energia das marés.

Fonte: http://www.bbcat.org/images/image007_000.gif

Na Figura 15 é indicado o potencial mundial para a geração geotérmica. Encerrando a indicação das energias renováveis apresenta-se a produção de etanol e biodiesel, apenas para ilustrar a produção de biomassa para uso energético.

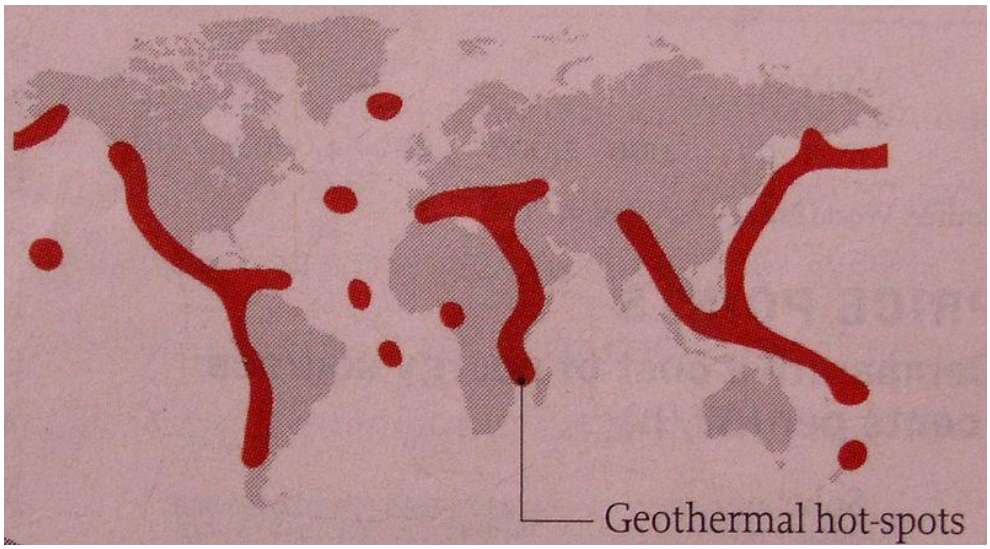


Figura 15 - Regiões potenciais para aproveitamento geotérmico.

Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0f/Geothermal_hotspots.JPG

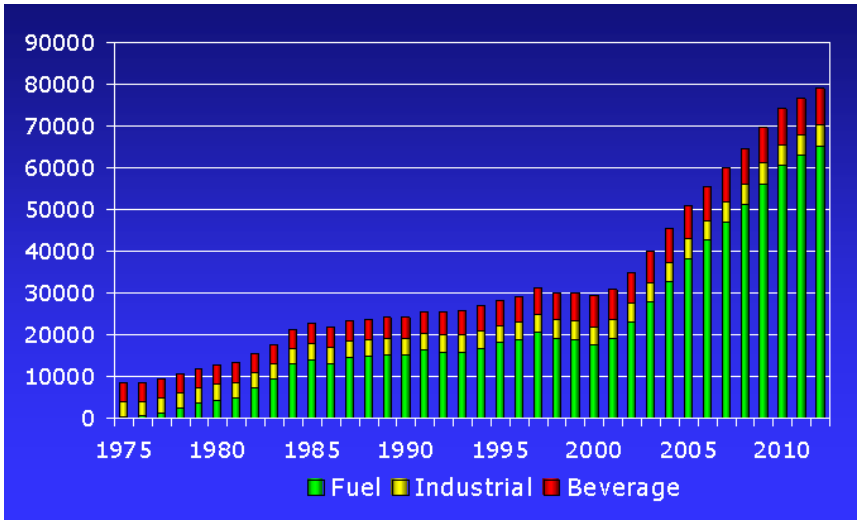


Figura 16 - Produção histórica mundial de etanol, por utilização (Rocha, Mesa Perez e Cortez, 2004).

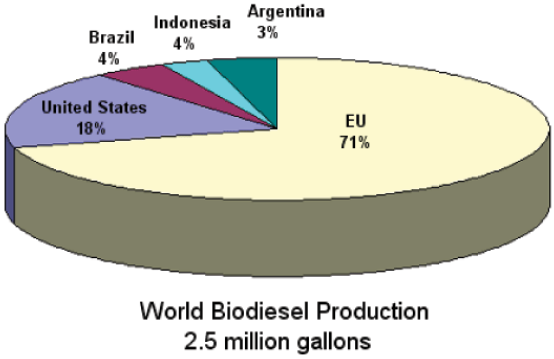


Figura 17 - Principais produtores de biodiesel no mundo (Baier. S, Clements, M., Griffiths C., Ihrig, J., 2009)

2.4 O Setor Energético Brasileiro

Na Figura 18 é mostrada a matriz energética brasileira para o consumo final por fonte conforme dada Balanço Energético Nacional (EPE, 2009). É possível notar claramente a relevância das fontes renováveis no panorama atual de energia no Brasil.

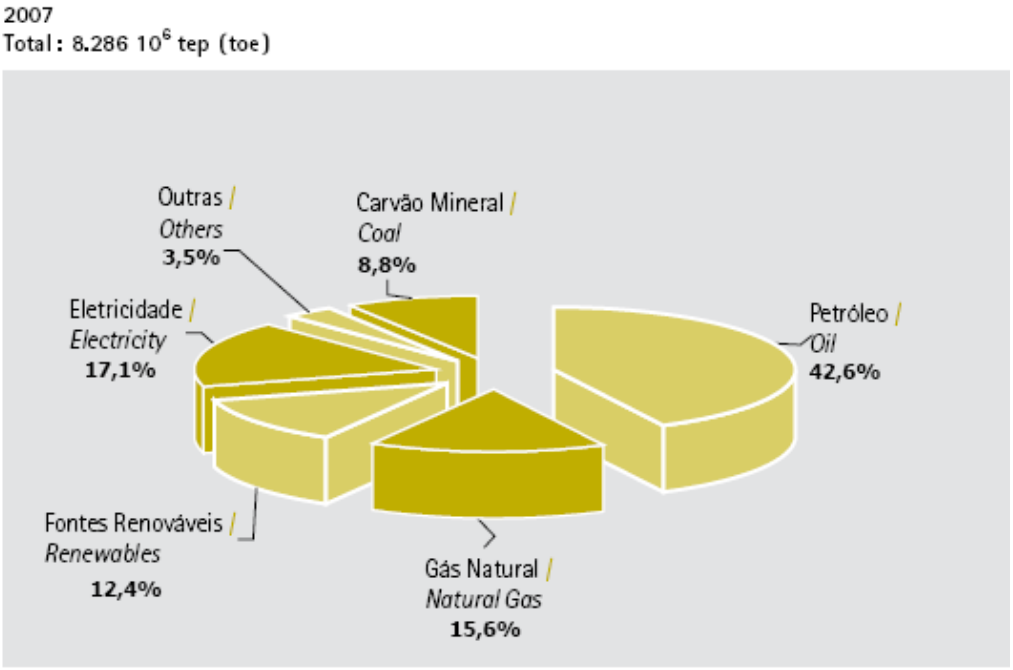


Figura 18 - Consumo final de energia por fonte (EPE, 2006)

Em 2008, de acordo com o anuário BP (2009), o Brasil possuía 12,6 bilhões de barris de petróleo em reservas provadas. É a segunda maior reserva da América Latina, perdendo apenas para a Venezuela, com 99,4 bilhões de barris. É o 16º país em reserva de petróleo do mundo, depois da descoberta do pré-sal. A Figura 19 indica as bacias produtoras de petróleo.

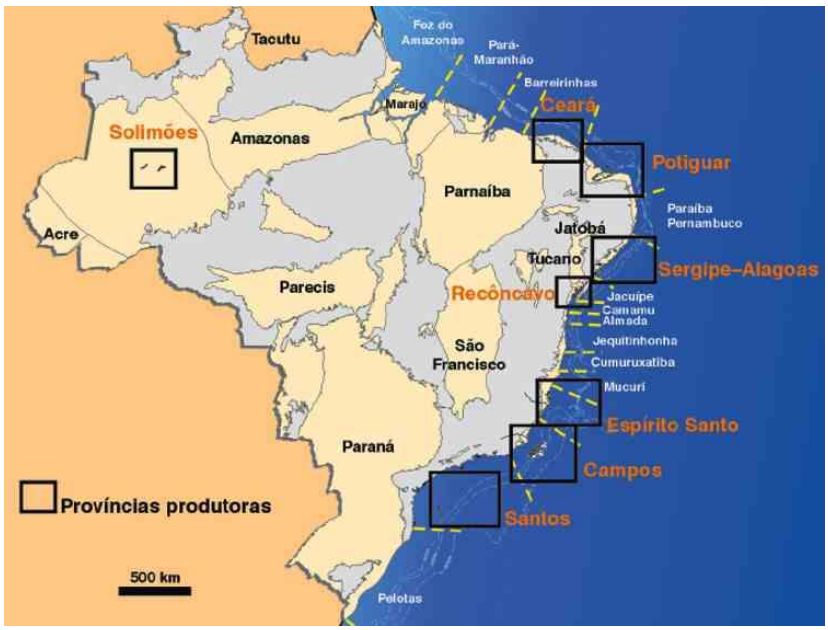


Figura 19 - Bacias sedimentares brasileiras, com destaque para as províncias produtoras de petróleo.
Fonte: http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-petroleo/petroleo-4.php

O país possui reservas de 0,33 trilhões de metros cúbicos de gás natural, o que representa 0,2% do total mundial. É o sexto produtor da América Latina, e na Figura 20.

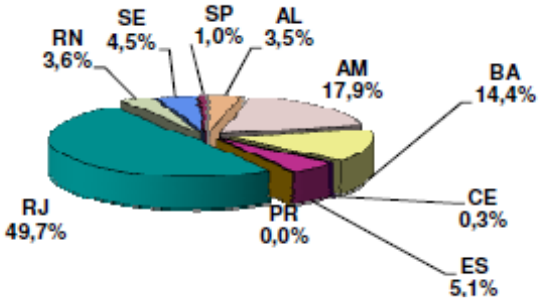


Figura 20 - Distribuição percentual por Unidades da Federação das reservas provadas de gás natural no Brasil (ANP, 2009)

O carvão no Brasil se encontra principalmente na região Sul do país, conforme apresenta a Figura 21.

Figura 21 - Localização das principais jazidas de carvão da bacia do Paraná (Aramis *et al.* , 1998)

O Brasil consome 0,5% da energia nuclear consumida no mundo. Suas reservas recuperáveis de urânio são de 278000 toneladas, ou 5% das reservas

mundiais, o que o coloca como o sétimo país do ranking. As reservas de urânio do Brasil se encontram distribuídas conforme indica a Figura 22:

Figura 22 - Reservas brasileiras de urânio e mineração propriamente dita.
Fonte: http://www.inb.gov.br/inb/WebForms/Interna2.aspx?secao_id=48

O potencial eólico nacional, medido ainda na década de 1990 é de 143 GW. Esse valor é maior do que o atual consumo energético do país. Entretanto este valor pode ser ainda maior, uma vez que na medição realizada os valores medidos foram do vento com torres de 50 metros e a atual medição é feita com torres de 80 a 100 metros de altura, cuja característica de vento indica maiores potenciais. Um exemplo disto é o caso de Minas Gerais, que na medição anterior possuía um potencial de 10 GW. Em 2010 a Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (Cemig) publicou um novo atlas eólico para o estado cujo potencial passou para 40 GW. A Figura 23 mostra os sítios de potencial aproveitamento da energia eólica do estado (Amarante, Silva e Andrade, 2010).

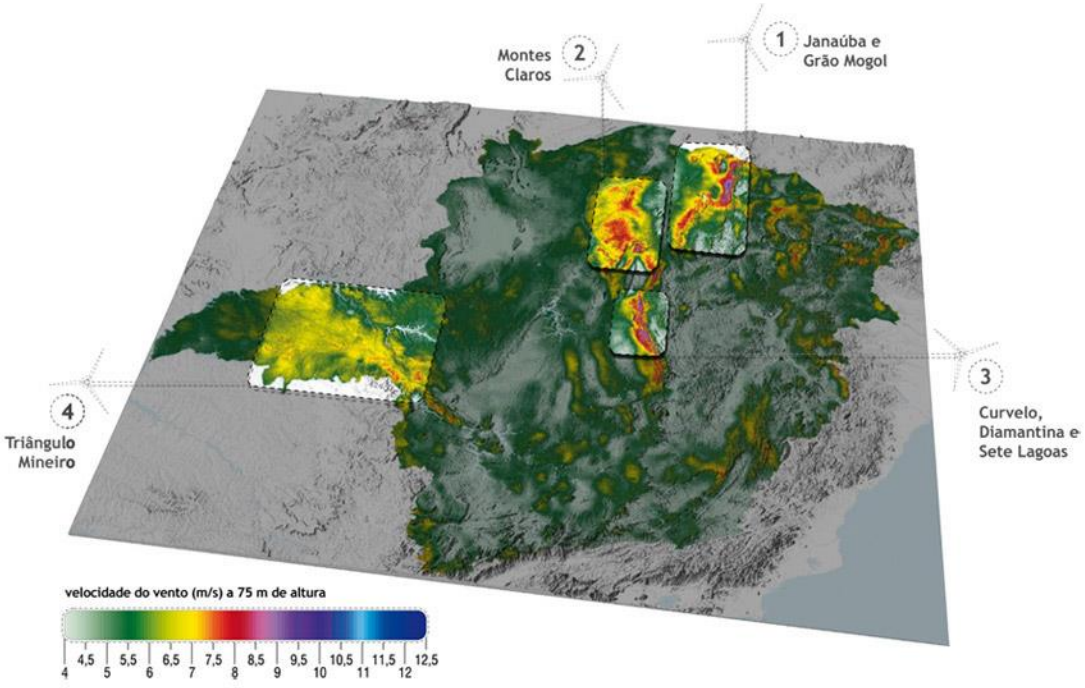


Figura 23 - Áreas mais promissoras para aproveitamento eólico em Minas.

A Figura 24 indica o potencial para aproveitamento de energia solar no Brasil.

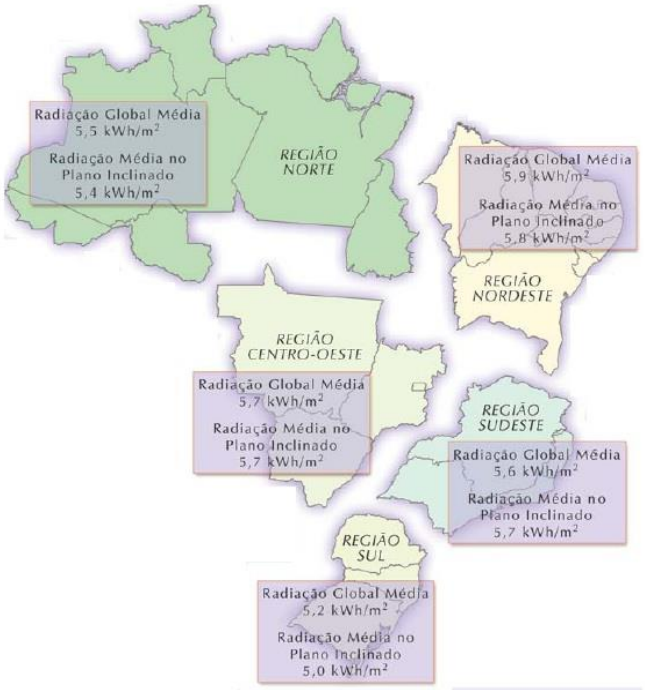


Figura 24 - Potencial de energia solar no Brasil (Pereira, 2006).

Conforme pôde ser observado pelas figuras deste capítulo, existe um grande potencial energético a ser explorado nas diversas fontes disponíveis. Contudo, o grande fator limitante para a implantação de novos empreendimentos é o fator

econômico. A Tabela 7 indica os custos de investimentos e na Tabela 8 é mostrado o custa da geração de energia (EPE, 2006).

Tabela 7: Custos de Investimento Referenciais na Geração da Energia Elétrica

Fonte de Geração	US$/kW
Hidrelétrica	1.330
- Potencial até 60.900 MW	1.100
- Potencial entre 60.900 e 70.900 MW	1.450
- Potencial entre 70.900 e 80.900 MW	1.800
- Potencial acima de 80.900 MW	2.500
PCH	1.200
Centrais eólicas	1.200
Cogeração a partir da biomassa da cana	900
Resíduos sólidos urbanos	1.250
Centrais nucleares	2.200
Térmicas a carvão mineral	1.600
Térmicas a gás natural	750
Outras usinas	500

Tabela 8: Custo Médio da Geração de Eletricidade (US$/MWh)

Fonte	Condição hidrológica	
	Crítica	Média
Gás natural	56,4	40,4
Carvão nacional	44,4	40,5
Carvão importado	56,8	49,3
Nuclear	51,8	50,1
Resíduos urbanos	22,0	22,0
Biomassa da cana	23,0	23,0
PCH	36,0	36,0
Centrais eólicas	75,0	75,0

3. METODOLOGIA

Este trabalho será elaborado como uma pesquisa exploratória, uma vez que este tipo é mais adequado para o propósito do estudo que se pretende e conforme as suas características, listadas a seguir (RAPOSO, 2010):

- Realiza uma pesquisa, que visa proporcionar uma familiaridade com o problema, tornando-o explícito;
- Apóia a elaboração de hipóteses ou o processo de investigação;
- Oferece uma visão panorâmica;
- Aplicada em questões de pesquisa com pouco ou nenhum estudo anterior;
- Tem como objetivo buscar idéias, padrões, hipóteses e não testá-los;
- As técnicas tipicamente utilizadas são: estudo de caso, observações ou análise histórica, podendo inclusive fazer o uso de observação informal;
- Planejamento flexível (freqüentemente assume forma de Pesquisa bibliográfica ou estudo de caso).

A técnica utilizada na coleta de dados será a pesquisa bibliográfica em livros, revistas, jornais e documentos oficiais publicados na imprensa e disponíveis nos sítios de órgãos governamentais, de empresas de energia, de universidades e centros de pesquisa acrescido de informações colhidas em trabalhos já produzidos sobre o tema, cujos dados serão levantadas através do acesso à rede mundial de computadores;

O método de procedimento será o monográfico.

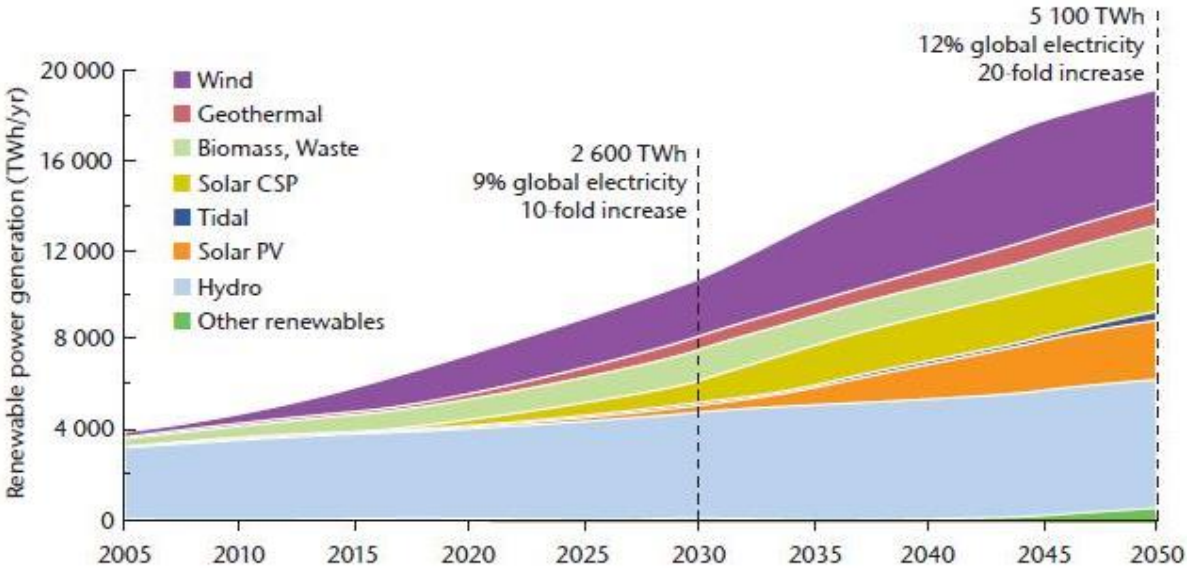
Os roteiros tecnológicos e os cenários prospectivos principais a serem usados neste trabalho são os documento produzidos por instituições como *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), *Department of Energy* (DoE/EUA), *World Energy Council* (WEC) *e Electric Power Research Institute* (EPRI), *International Energy Agency* (IEA), Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e pela Empresa de Pesquisa Energética.

4. CENÁRIOS FUTUROS EM ENERGIA

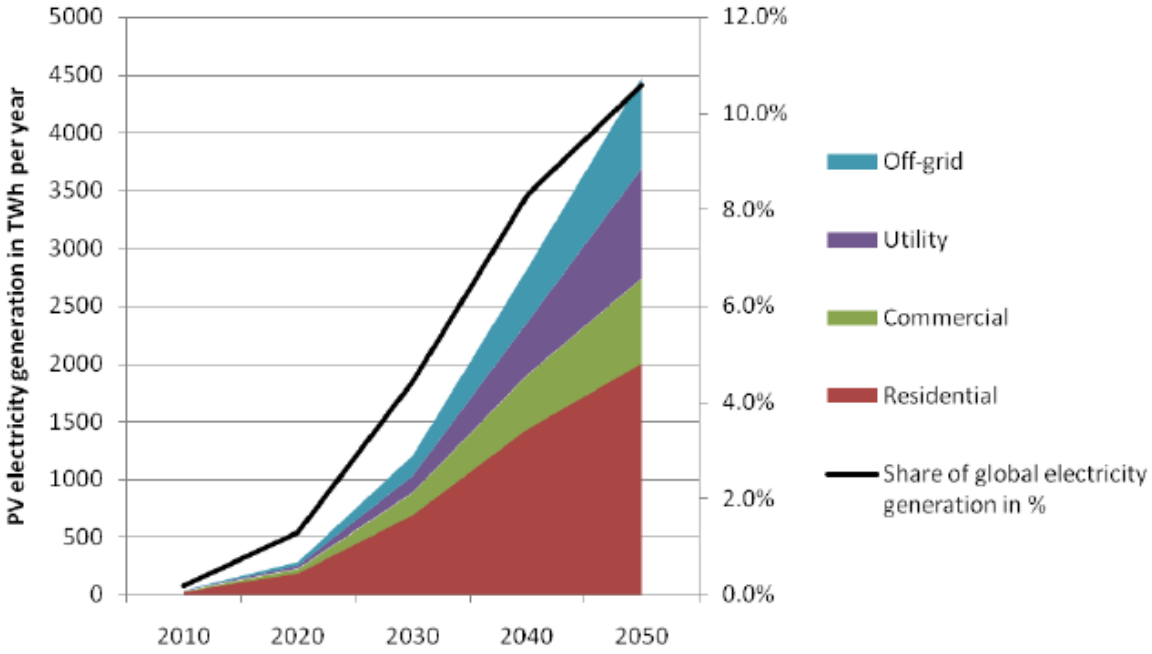
A IEA publicou em 2009 o documento *Technology Roadmap*, no qual o cenário *IEA Energy Technology Perspectives* (ETP) 2008 *BLUE Map*, apresenta as previsões mundiais de futuro até o ano de 2050 mostradas a seguir. Na Figura 25 é apresentada a perspectiva de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis até o ano de 2050. Nota-se o acentuado crescimento da geração de eletricidade a partir de fonte eólica, correspondente a um aumento de 10 vezes até 2030 (atingindo 9% da geração elétrica) e de 20 vezes até 2050 (12% da geração), com base nos valores de 2008.

Estima-se que a instalação eólica instalada ao final de 2008 evite a emissão de cerca de 230 mil toneladas de gás carbônico por ano. As expectativas segundo o cenário ETP 2008 *BLUE Map* indicam que o desenvolvimento da energia eólica contribua em 12% para a redução de CO2 em 2050. Nesse cenário, a produção global de energia é quase inteiramente baseada em tecnologias de emissão zero de carbono. Esta tendência em se direcionar crescimento para a energia eólica pode ser claramente observada também no Brasil. O Ministério de Minas e Energia criou o Programa de Incentivo de Fontes Alternativas (Proinfa) de forma a possibilitar a inserção de alternativas energéticas no sistema de forma incentivada. As formas contempladas por este programa foram: eólico, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Nos leilões de energia de reserva em 2010 a energia eólica obteve preço competitivo com as demais fontes, indicando que cada vez mais deixa de ser uma alternativa e se firmando como uma fonte viável técnica e economicamente e competitiva.

O *Technology Roadmap* apresenta as ações a serem tomadas pelas indústrias, governos e empresas do sistema elétrico para que as previsões acima se tornem verdadeiras e discute a forma como isso deve ser feito.



Eólica



Solar

Figura 25 - Eletricidade a partir de fontes renováveis até 2050 (IEA,2008).

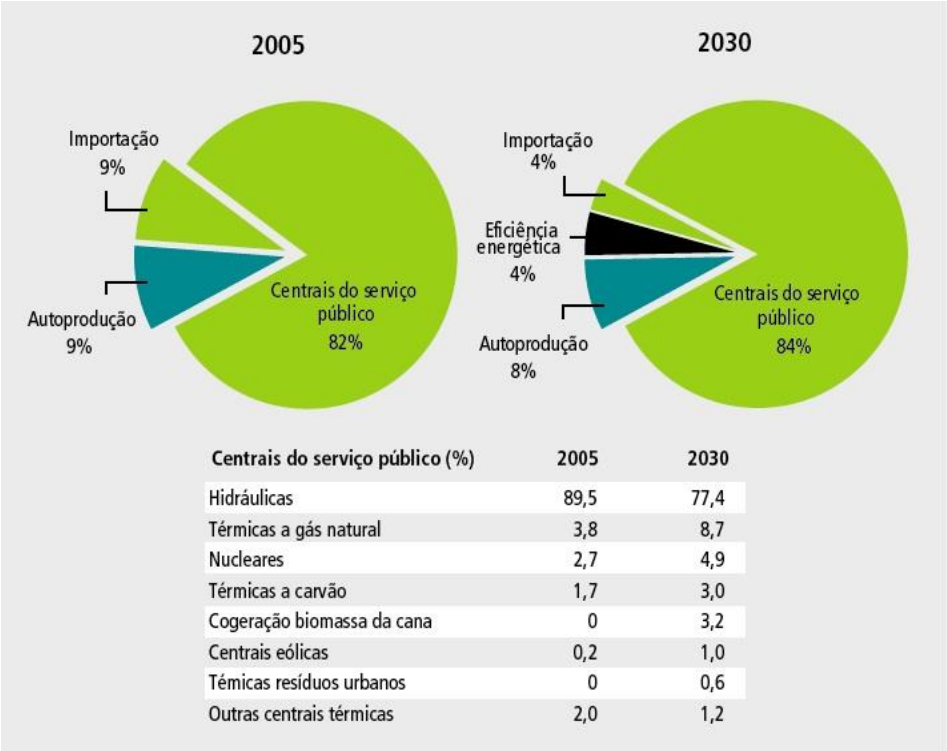
Alguns exemplos selecionados são citados a seguir, e para que se obtenham mais detalhes sobre cada ação este documento deve ser consultado.

- Melhorar o entendimento de terrenos complexos, condições *offshore* e climas glaciais;

- Desenvolver tipos de fundações alternativas e competitivas para uso em águas de profundidade superior a 40m;
- Desenvolver materiais mais leves e resistentes para permitir rotores maiores e diminuir a dependência das torres em relação ao aço;
- Desenvolver mão de obra especializada;
- Desenvolver o mercado de eletricidade e as *smartgrids* para permitir maior flexibilidade;
- Desenvolver a colaboração internacional;

Para o Brasil, a análise das perspectivas de futuro é baseada no documento PNE 2030, publicado ao final de 2007 e elaborado pela EPE. As perspectivas de expansão da oferta de energia elétrica entre 2005 e 2030 são mostradas na tabela a seguir, na qual se observa um aumento de 0,2% para 1,0% da participação das centrais eólicas na matriz energética nacional. Para atingir esse valor, o PNE 2030 propõe analisar mecanismos de fomento às fontes alternativas renováveis de forma a aumentar a sua participação para mais de 4% na oferta interna de eletricidade. O desdobramento deste estudo para o curto e médio prazo é dado pelo Plano Decenal de Energia 2009-2019, publicado pela EPE. A estrutura da oferta de Energia no país é apresentada na Figura 26 (EPE, 2006).

A Figura 27 apresenta as projeções mundiais para a oferta de energia de 2006 até o ano de 2030 de acordo com o *World Energy Outlook* 2008. Observa-se a participação da energia solar na geração de eletricidade e o seu crescimento acelerado.



Centrais do serviço público (%)	2005	2030
Hidráulicas	89,5	77,4
Térmicas a gás natural	3,8	8,7
Nucleares	2,7	4,9
Térmicas a carvão	1,7	3,0
Cogeração biomassa da cana	0	3,2
Centrais eólicas	0,2	1,0
Témicas resíduos urbanos	0	0,6
Outras centrais térmicas	2,0	1,2

Figura 26 - Estrutura da oferta de energia 2005/2030.

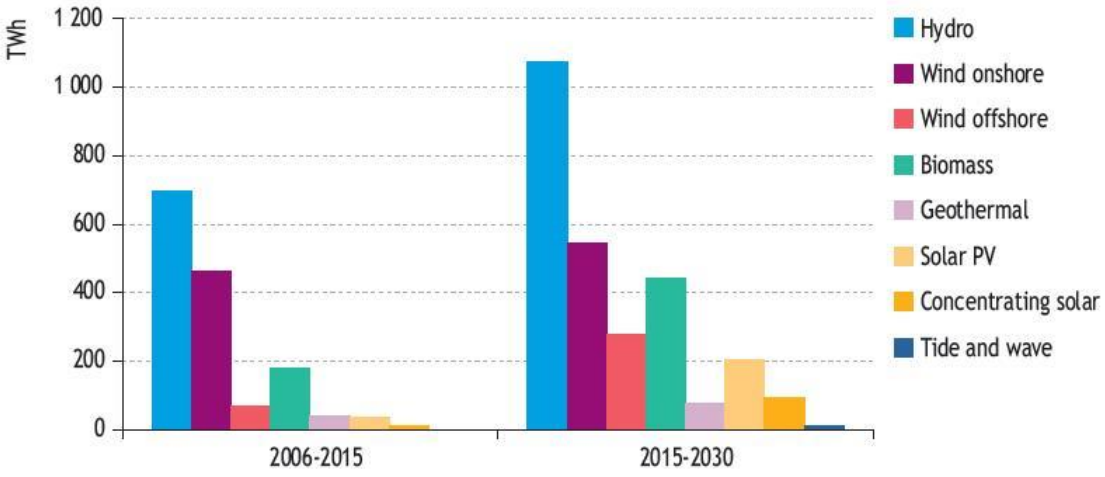


Figura 27 - Aumento da geração mundial de energia a partir de fontes renováveis até 2030.

Na Figura 28 é mostrado um cenário apresentado por Newell (2009) que indica outras opções de crescimento da matriz energética mundial, sob direcionamento estratégico. Nas Figuras 29 e 30 são apresentados *Roadmaps* para a União Européia, indicando ações e metas para o desenvolvimento de fontes renováveis CEU (2009).

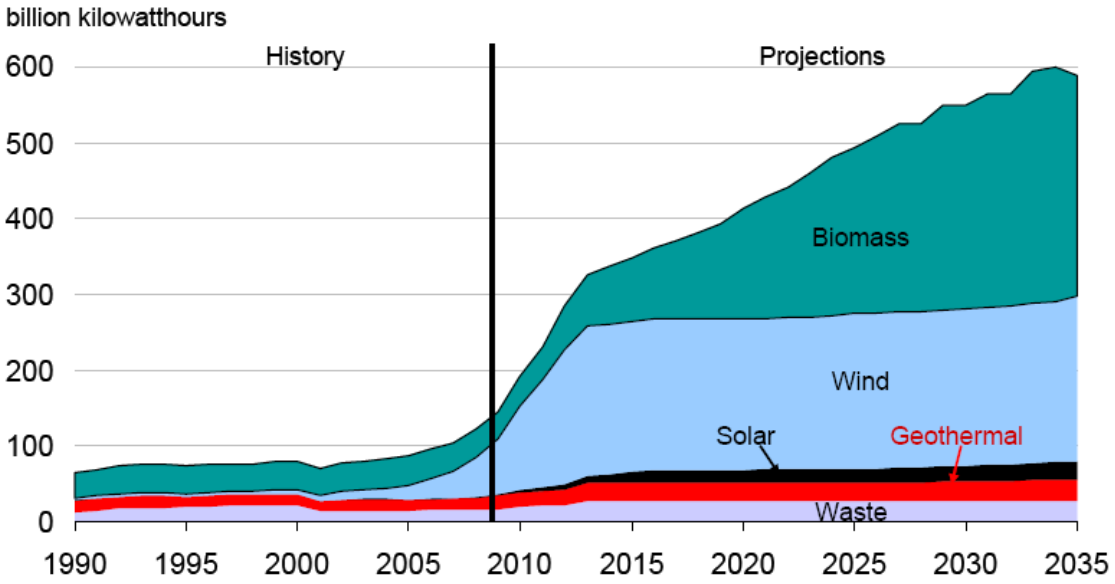


Figura 28 - Cenário da energia elétrica mundial em 2035.

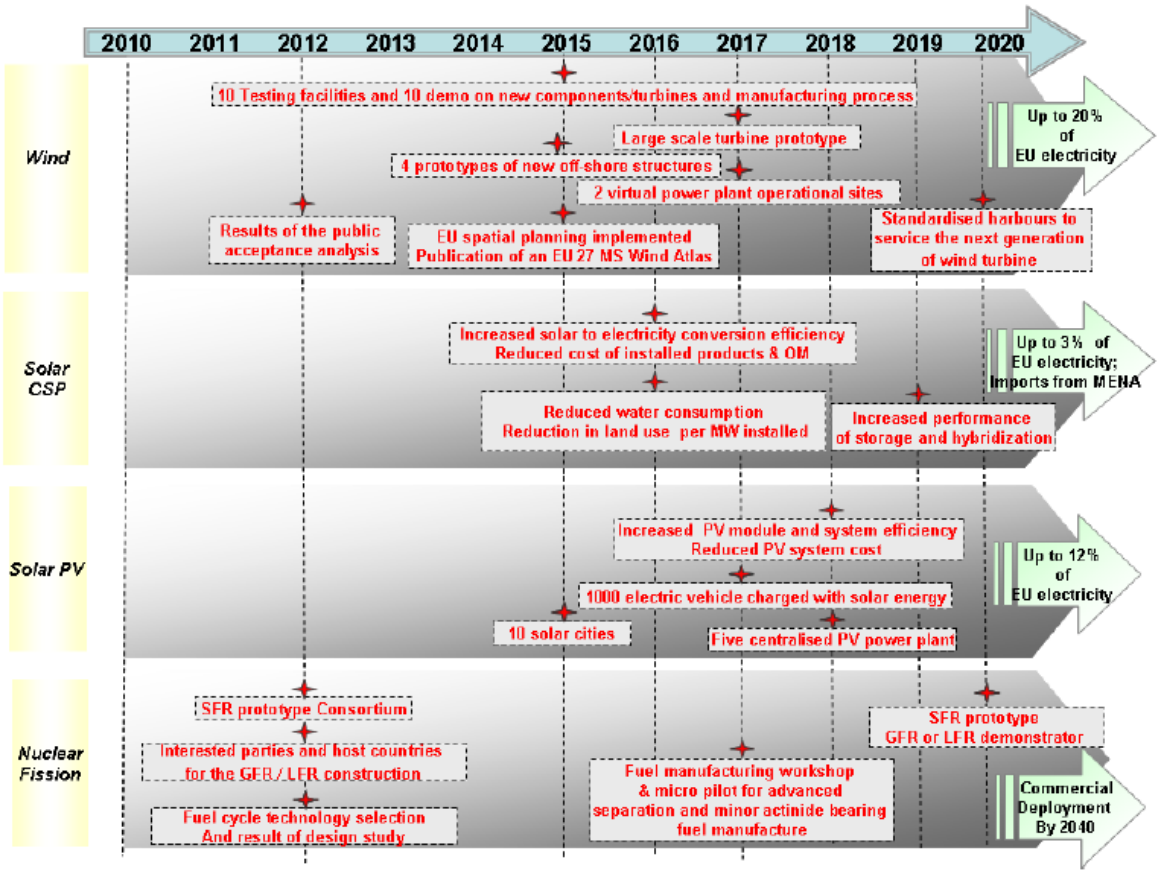


Figura 29 - *Roadmap* da união européia, indicando metas e objetivos em energia.

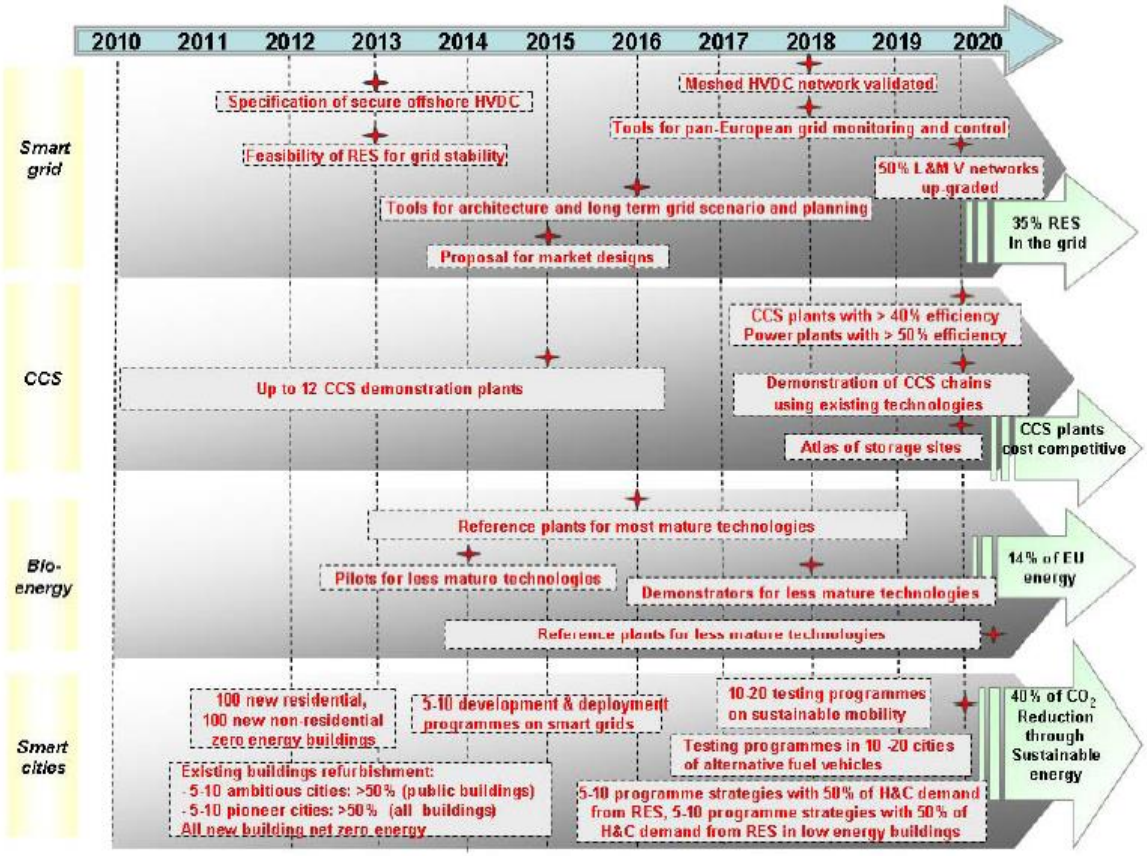


Figura 30 - *Roadmap* da união européia, indicando metas e objetivos em energia.

Na Figura 31 é indicado um cenário do IEA(2009), indicando o foco e as possibilidade em eficiência energética. É sabido que a questão energética, passando pelo cunho ambiental, acarreta a elevação dos custos da energia em âmbito mundial. O fato é que se faz necessário o atendimento de exigências ambientais de forma a não comprometer o preço da energia, que por sua vez, possui impactos significativos nos custos de produção das nações, podendo acarretar deslocamento de mercado para produções globais. Uma das formas de se atingir esta manutenção de condições é através de ações de eficiência energética.

Além dos cenários de energia, é interessante observar que várias novas tecnologias possuem roteiros claros de desenvolvimento e direcionamento de pesquisa. Como exemplo disto pode-se citar:

- Desenvolvimento de CCS;
- Implementação das rede inteligentes ou *smartgrid*;

- Pesquisa e desenvolvimento da tecnologia nuclear, principalmente nos reatores de 3ª e 4ª gerações, que podem realmente provocar uma revolução nos sistemas energéticos.

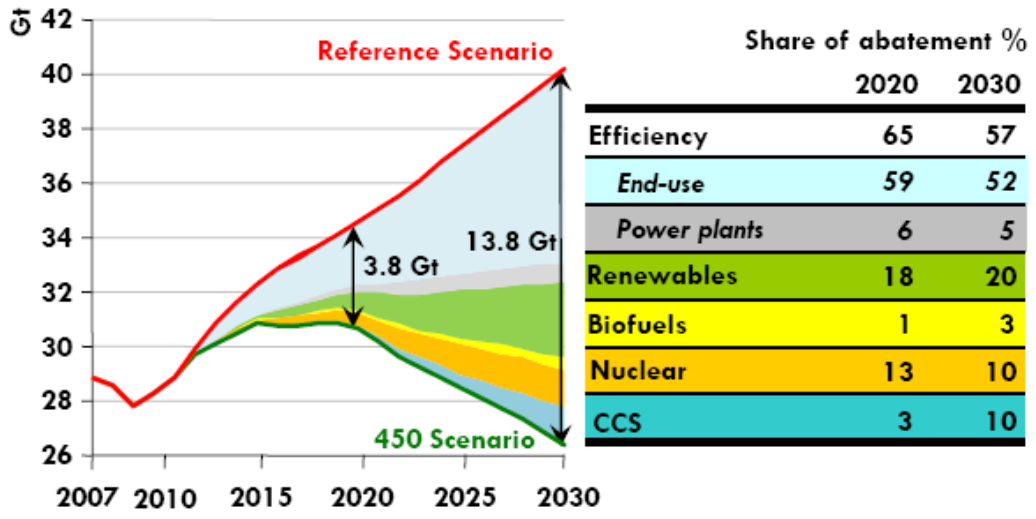


Figura 31 - O cenário futuro e as possibilidades para ações de eficiência energética.

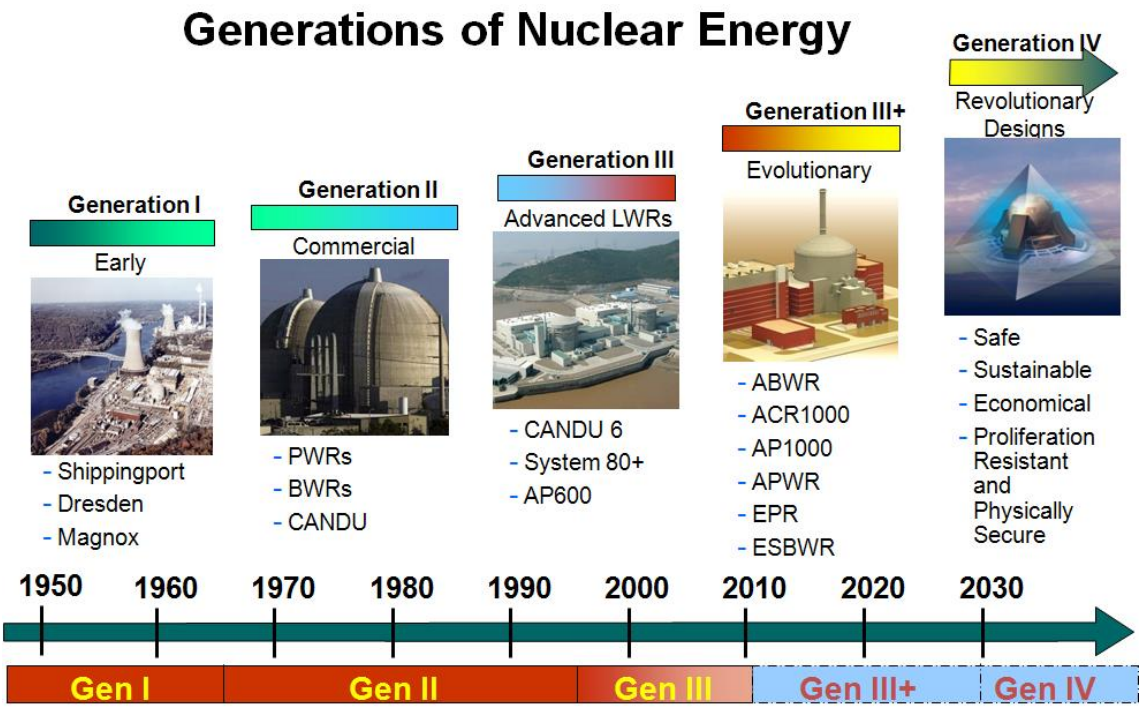


Figura 32 - Desenvolvimento da energia Nuclear.
Fonte: http://www.gen-4.org/Technology/evolution.htm

4.1 Cenários para o Brasil

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Brasil, órgão subordinado ao Ministério de Minas e Energia (MME), é a responsável pela divulgação do Plano Decenal de Energia (PDE) e do Plano Nacional de Energia (PNE). O PDE mostra o que já foi contratado e o que está sendo planejado em termos da matriz energética do país pelos próximos dez anos (o atual é o plano de 2019) e o PNE estuda as alternativas de crescimento da geração de energia no país até 2030.

De acordo com o PDE, a energia elétrica do Brasil expandirá, até 2019, principalmente graças à hidreletricidade e a fontes alternativas (solar, eólica, marinha e hidrogênio). De acordo com o texto do PDE, a escolha do Brasil é crescer em geração de energia de maneira "limpa". Apenas até 2013 há a previsão de construção de termelétricas alimentadas por fontes fósseis, e uma usina nuclear está contemplada para entrar em funcionamento em 2015. Dos R$951 bilhões de investimentos previstos, os dois setores que receberão a maior quantidade são o de petróleo e gás natural, com R$672 bilhões e o de eletricidade, com R$214 bilhões. Dentro do setor de energia elétrica, R$175 bilhões se destinam à geração e o restante, à transmissão. A Figura 33 apresenta a expansão esperada do sistema elétrico brasileiro conforme EPE (2010).

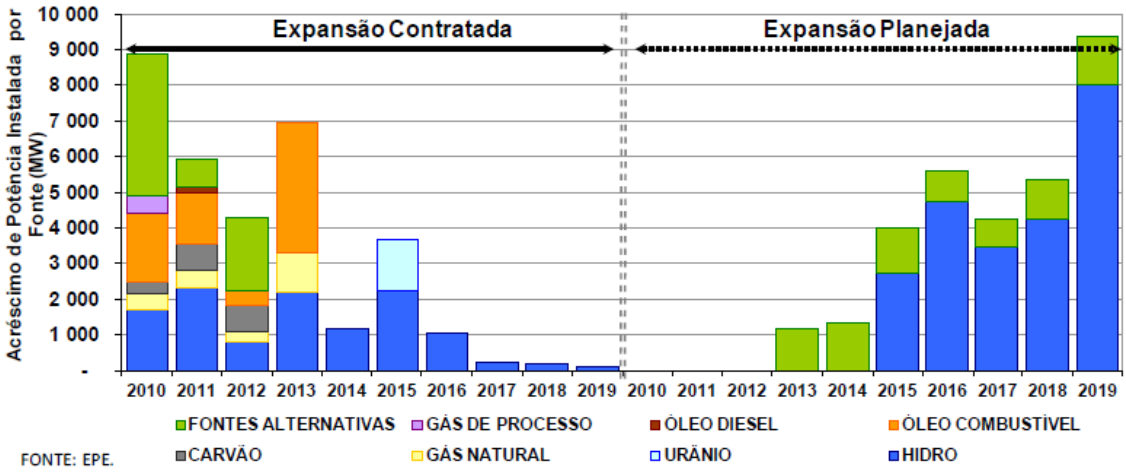


Figura 33 - Expansão das fontes de energia elétrica do Brasil, já contratada e planejada, até 2019.

Desde maio de 2010, o texto do PDE está disponível para consulta pública no site da EPE, e levantou controvérsias em diversos setores. Especialistas em energia e meio ambiente questionam o fato de a expansão planejada das hidrelétricas ser tão

grande, em comparação com as outras fontes renováveis[17], e a Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN) sente falta de uma menção ao projeto da Eletrobrás de construir uma termelétrica nuclear no Nordeste, que pode ficar pronta antes de 2020. De acordo com a ABEN, os locais para a construção das novas hidrelétricas propostas pelo PDE são afastados dos centros de consumo. Com isso, seriam abertas oportunidades a termelétricas, fósseis ou nucleares, para suprir a grande demanda do Sudeste brasileiro.

É interessante observar que o desafio de crescimento da matriz energética nacional é bastante complexo e difícil. Para se ter uma idéia, a se manterem premissas mínimas de crescimento populacional e econômico, será necessário que se dobre ou triplique a disponibilidade energética do país em 20 anos, conforme ilustra a Figura 34.

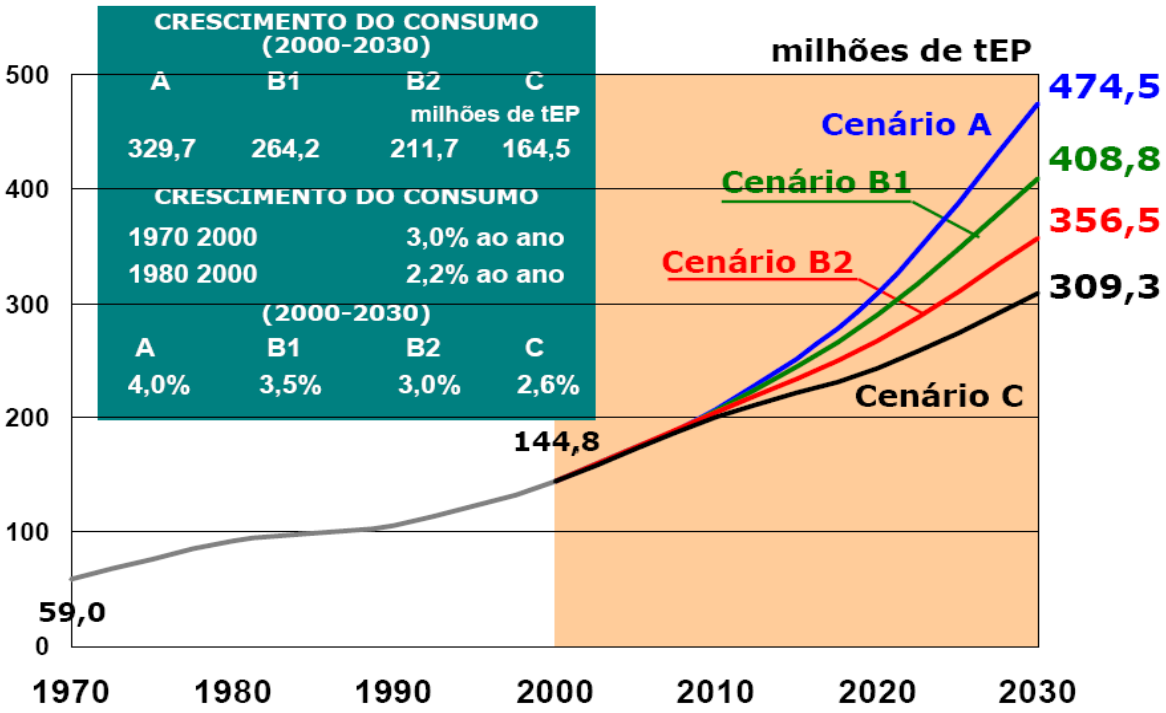


Figura 34 - Demanda de energia no futuro (2030)

O PDE não aposta em uma matriz energética diferente da atual para os próximos 10 anos, assim como o PNE 2030. Isso reflete a tentativa do Brasil de se manter entre os países de matriz energética mais limpa e, ao mesmo tempo, crescer economicamente. Isto pode ser comprovado pelas Figuras 35 e 36.

Como se pode ver nos gráficos, a mudança na matriz é relativamente pequena, não alterando muito o percentual das energias renováveis em comparação

às não-renováveis. No campo da eletricidade, em 2030, a hidroeletricidade continua dominante, com aumento expressivo de outras fontes renováveis.

Uma vez que o Brasil faz essa escolha de investir em petróleo e energia hidráulica nos próximos dez anos, e possivelmente nos próximos vinte, o maior desafio que as alternativas energéticas terão que enfrentar é a luta por mais recursos investidos nelas. É possível que elas ganhem mais importância com o passar da década, na medida em que seus custos ficam mais competitivos; por ora, apenas a energia eólica parece estar conseguindo destaque nos investimentos.

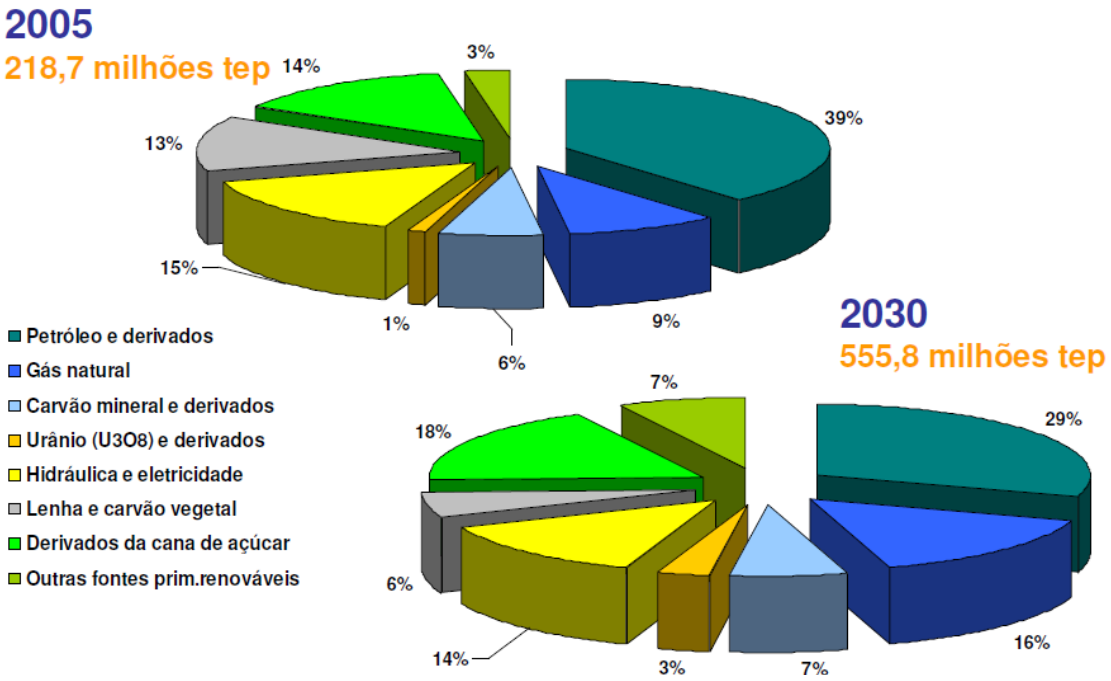


Figura 35 - Matriz energética brasileira em 2005 e em 2030.

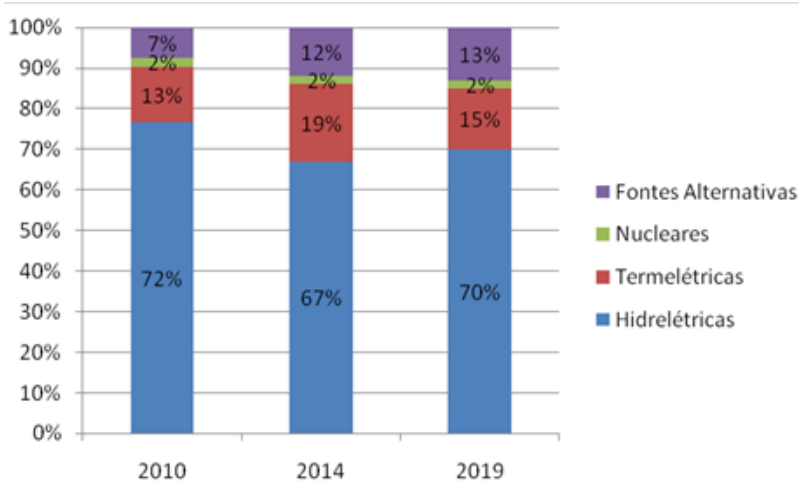


Figura 36 - Composição do parque gerador de eletricidade previsto pelo PDE (2010, 2014 e 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

É interessante observar que existem algumas maneiras de se pensar o futuro energético. Uma delas é o planejamento, ou seja, considerando que certos parâmetros atuais permaneçam, como por exemplo: o crescimento do produto interno bruto (PIB) e o crescimento vegetativo da população faz-se a previsão desejada em um horizonte de tempo. Um estudo desta natureza possibilita o planejamento e programação de construções geradoras que irão atender esta demanda no tempo.

Outra importante forma trata-se dos cenários prospectivos com a geração de roteiros tecnológicos. Nesta forma é criado um futuro desejado, com grande potencial de ganho para a sociedade, seja econômico, ambiental ou social, identificando ações necessárias para a realização desta imagem ideal criada para o futuro. Trata-se de abordagens diferentes, mas complementares, onde o planejamento preocupa-se com o atendimento energético e os cenários prospectivos tratam de questões energéticas, mas com um impacto social de maior alcance, podendo inclusive redirecionar o modo de vida da sociedade.

As fontes não renováveis tiveram um grande papel na construção energética e tecnológica atual. A característica finita dos recursos naturais juntamente com os impactos ambientais se constitui na grande questão a ser resolvida pela sociedade moderna. Isto pode ser observado claramente no fato de que as grandes empresas de combustíveis fósseis são também as empresas gigantes na área de energias renováveis. Um exemplo disso são as empresas renováveis da Shell e da BP cujos braços renováveis são Shell Solar e BP Solar.

Grande parte das reservas mundiais de petróleo e gás encontram-se em área de conflitos históricos. Percebe-se também que o desenvolvimento de alguns países, como a China e a Índia, podem acirrar ainda mais a disputa por combustíveis e energia, podendo provocar outros conflitos e guerras. Não se deve esquece, obviamente, o grande produtor e consumidor energético mundial: Estados Unidos.

Um energético apontado para substituição natural do petróleo é o gás natural. Contudo por questões tecnológicas e de conjunturas comerciais, este energético ainda não possui uma economia globalizada.

O carvão mineral apesar das questões ambientais, ainda permanece como uma importante fonte energética mundial. A grande expectativa neste caso é o desenvolvimento de tecnologias de captura e seqüestro de carbono que sejam economicamente viáveis. Desta maneira a questão energética poderia ter a carga ambiental um pouco reduzida e a garantia de suprimento prolongada, possibilitando o desenvolvimento de novas formas e fontes de energia, com evolução e revolução tecnológica.

Sob o ponto de vista de quantidade de reservas e impacto ambiental, a fonte nuclear certamente ainda será intensamente utilizada e contribuirá significativamente para com a sociedade. Com as direções futuras de pesquisa desta tecnologia, pode-se antever um desenvolvimento tal que resolva os problemas e receios quanto a esta fonte, de maneira a se promover um renascimento da energia nuclear. De fato, quando se pensa na questão energética, confrontando as reservas e previsões da demanda só existem duas formas de fazer com que a relação consumo X demanda se equilibrem, conforme a seguir:

- A restrição severa de consumo. Esta não se mostra uma opção da sociedade exceto por imposição de alguma forma. De fato, o desejo de todos é consumir e neste caso o consumo significa uma maior acesso a bens e serviços e por conseqüência, a uma melhor qualidade de vida.
- Uso intenso da energia nuclear para atender as demandas. Esta opção seria a única forma de se promover uma segunda eletrificação da sociedade, promovendo uma revolução tecnológica e privilegiando o uso da eletricidade. Vale notar que as fontes renováveis poderão contribuir significativamente na produção de energia do futuro, mas dificilmente possuem potencial e tecnologia para realizar uma substituição completa e crescente das fontes não-renováveis.

Os potenciais indicativos das fontes alternativas e a evolução tecnológica demonstram que a capacidade instalada tem aumentado significativamente, principalmente das fontes como eólica e solar. De fato, os cenários futuros exploram bastante a implantação destas fontes, uma vez que elas se apresentam como as soluções indicadas dadas a questão preponderante em que se tornou o meio ambiente.

O Brasil é um país privilegiado, pois além de todo o potencial em energia renovável, dado principalmente pela sua localização e extensão territorial, ainda possui grandes reservas de urânio e com a exploração dos campos de petróleo do

pré-sal se tornará um dos grandes produtores mundiais de petróleo. É possível observar através do planejamento energético nacional e o plano decenal de energia que o país realizará o crescimento em fontes renováveis, privilegiando ainda a fonte hídrica e fomentando a participação de biomassa e eólica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizando um balanço do trabalho e confrontando com os objetivos propostos pode-se fazer as seguintes considerações:

- Foi realizado um levantamento da atual situação energética no Brasil e no mundo;
- Foram descritos e comentados alguns itens de planejamento e de cenários tecnológicos futuros;
- Foram feitas algumas discussões possíveis considerando-se as informações descritas. A seguir são apresentadas algumas considerações finais.

O encaminhamento futuro da energia depende de inúmeros fatores, o que torna a questão energética é bastante ampla e complexa.

A solução não se trata de uma única ação, mas um conjunto de ações por parte de governos, academias, empresas, e sociedade em geral. Todas as fontes de energia terão o seu papel, onde for mais adequado. E não se pode prescindir de nenhuma forma ou fonte. Por outro lado, as pessoas necessitarão participar ativamente da construção da sociedade e da energia do futuro, deixando a passividade de consumidores.

A tecnologia terá também um papel preponderante na construção de novos sistemas, modelos, aproveitamentos. Os reflexos e resultados de desenvolvimentos de: redes inteligentes, reatores nucleares de quarta geração, captura e seqüestro de carbono, veículos elétricos, certamente modificação o modo de vida da sociedade, causando grandes revoluções.

O Brasil possui potencial para se tornar num futuro, uma grande potência energética e mundial e deve aproveitar esta oportunidade para crescer não só econômica e tecnologicamente, como também socialmente, agregando qualidade de vida e conforto para a sua população, decorrentes do uso e exploração dos energéticos, pois a finalidade dos recursos naturais de fato é servir a sua sociedade.

Uma sugestão para trabalho futuro é realizar o desdobramento de planejamento e cenários dados em âmbito mundial e nacional para a realidade local, identificando e antecipando ações e previsões para a situação regional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, O. A. C. do; SILVA, F. de J. L. da; ANDRADE, P. E. P. de. **Atlas eólico Minas Gerais. Belo Horizonte-MG: Cemig** , 2010.

ANP, Anuário Estatístico 2009, Disponível em < http://www.anp.gov.br/?pg=8240 >, acessado em 09/11/10 às 13:42 h.

Aramis Pereira Gomes; José Alcides F. Ferreira; Luiz Fernando de Albuquerque; Telmo Süffert Carvão fóssil, **Estud. av. vol.12 no.33,** São Paulo May/Aug. 1998

Baier. S, Clements, M., Griffiths C., Ihrig, J. Biofuels Impact on Crop and Food Prices: Using an Interactive Spreadsheet, **Board of Governors of the Federal Reserve System International Finance Discussion Papers Number 967**, March 2009

BP Statistical Review of World Energy, 2009. Disponível em < http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2009_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2009.pdf>, acessado em 6 de junho de 2010.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, **Energias do Futuro**, Brasília, 2008, Disponível em <http://www.cgee.org.br/atividades/index.php?a=1> , acessado em 13 de março, 2010 .

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (CEU), **A TECHNOLOGY ROADMAP*,*** Brussel, 2009

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia – PNE 2030**, Rio de Janeiro, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Energia – PDE 2009-2019**, Rio de Janeiro, 2010.

Espaço e Expressão SC Ltda., **É possível prever o futuro com cenários prospectivos?,** seção artigos próprios**,** Disponível em <http://www.plantabaixa.com/mostra_noticia.asp?cod_categoria=120&cod_noticia=590&cod_idioma=8>acessado em 13 de maço, 2010

IAEA, http://www.iaea.or.at/programmes/a2/ , acessado em 09/11/2010 às 11:31 h.

IEA Greenhouse Gas R&D Programme, **ESTOCANDO CO2 NOSUBSOLO**, Richmond, 2007

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Technology Roadmap: Wind Energy**. Disponível em: http://www.iea.org/papers/2009/Wind_Roadmap.pdf. Acesso em: 13 mai. 2010.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Technology Roadmap*: concentrating solar power. Disponível em:< http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf > acesso em: 19 jul. 2010.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2008 (WEO 2008)**. Disponível em: http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/weo2008.pdf. Acesso em: 12 jul. 2010.

International Energy Agency, < http://www.iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=29>, acessado em 09/11/2010 às 10:31 h.

Mathias, M. C. P. P. **A FORMAÇÃO DA INDÚSTRIA GLOBAL DE GÁS NATURAL: DEFINIÇÃO, CONDICIONANTES E DESAFIOS**, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 2008.

Newell, R. *Annual Energy Outlook 2010* Reference Case, IEA, disponível em < http://www.eia.doe.gov/neic/speeches/newell121409.pdf >, 2009, acessado em 09/11/10 às 16:06 h.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas **Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.04.14.11/doc/atlas_solar-reduced.pdf Acesso em: 19 jul. 2010.

Raposo, D. M. S.P (Org.) **Metodologia da Pesquisa e da Produção Científica**, Posead/FGF, Brasília/DF, 2010.

Rocha, J. D.; Mesa Pérez, J. M.; Cortez, L. A. B. Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa. Curso “Energia na Indústria de Açúcar e Álcool” UNIFEI, Itajubá, 12-16 de julho de 2004.

SOARES, B. E. C., NAVARRO, M. A., FERREIRA, A. P. Desenvolvimento sustentado e consciência ambiental: natureza, sociedade e racionalidade, **Ciência & Cognição**, v. 2, p. 44-49, 2004.

Technology Roadmap, Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Technology_roadmap> ,acessado em 13 de março, 2010.